



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ILONA PAANANEN

"HAPPO ON EMÄKSEN VASTAKOHTA." – FENOMENOGRAFI-
NEN TUTKIMUS TEKNIIKAN YLIOPPILAIDEN LUKION JÄLKEI-
SISTÄ HAPPO-EMÄSKÄSITYKSISTÄ

Diplomityö

Tarkastajat: yliopiston lehtori,
dosentti Terttu Hukka,
FT Sari Yrjänäinen
Tarkastajat ja aihe hyväksytty
Luonnontieteiden tiedekuntaneuvos-
ton kokouksessa 15. tammikuuta
2014

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknis-luonnontieteellinen koulutusohjelma

PAANANEN, ILONA: ”Happo on emäksen vastakohta.” – fenomenografinen tutkimus tekniikan ylioppilaiden lukion jälkeisistä happo-emäskäsityksistä

Diplomityö, 74 sivua, 14 liitesivua

Toukokuu 2014

Pääaine: Kemia

Tarkastajat: Yliopiston lehtori Terttu Hukka, FT Sari Yrjänäinen

Avainsanat: Happo-emäskemia, Arrheniuksen malli, Brønsted–Lowry-malli, fenomenografia, oppiminen, käsitys, virhekäsitys

Happo-emäskemia on yksi kemian perusalueista, jota opetetaan niin peruskoulussa, lukiossa kuin yliopistossakin. Sen teoria on kehittynyt aikojen saatossa antiikkisesta mallista Arrheniuksen malliin ja edelleen Brønsted–Lowry-mallin kautta Lewis-malliin. Lukiossa happo-emäskemiaa opetetaan ensin Arrheniuksen mallin mukaisesti kemian pakollisella kurssilla ja myöhemmin valtakunnallisella syventävällä kurssilla uudemman Brønsted–Lowry-mallin mukaisesti. Tämä historiallinen lähestymistapa voi tuottaa hyvän yleiskuvan tieteellisen tiedon luonteesta, mutta se voi myös aiheuttaa virheellisiä käsityksiä. Virheelliset käsitykset jäävät herkästi osaksi käsiteverkostoja ja näin haittaavat konstruktivistisen oppimiskäsityksen mukaan uuden oppimista. Jotta virhekäsityksiä voidaan korjata, on ne ensin havaittava.

Tässä diplomityössä lukion jälkeisiä happo-emäskäsityksiä tutkittiin fenomenografian keinoin. Fenomenografisen tutkimuksen tavoitteena on muodostaa käsiteavaruus kaikista niistä käsitteistä, joita tietystä ilmiöstä voi olla. Mikäli tiedetään, minkälaisia käsityksiä opiskelijoilla on happo-emäskemiasta, voidaan opetusta kohdentaa korjaamaan virheellisiä käsityksiä. Tutkimus toteutettiin kyselylomaketutkimuksena Tampereen teknillisellä yliopistolla syksyllä 2013 kemian ensimmäisen kurssin aloitusluennolla. Tutkittavilla ei vielä ollut yliopiston kemian opintoja takana. Vastauksia saatiin yhteensä 60 kappaletta. Käsitteiden kartoituksen lisäksi tutkimus pyrki vastaamaan kysymykseen Arrheniuksen mallin vaikutuksesta happo-emäskemian ymmärtämiseen. Tätä päätutkimuskysymystä tutkittiin alatutkimuskysymysten avulla, jotka käsittelivät mikrotason, happo-emäsmallien eroavaisuuksien sekä neutraloitumisreaktion ymmärrystä.

Tutkimuksessa havaittiin kaksi yleisesti esiintyvää virhekäsitystä: toisessa heikon ja vahvan hapon ero ymmärretään konsentraatioerona ja toisessa neutraloitumisreaktion ajatellaan aina päätyvän neutraaliin lopputuotteeseen. Näiden lisäksi havaittiin, että Arrheniuksen happo-emäsmalli vaikuttaa ymmärrykseen happo-emäskemiasta myös niillä opiskelijoilla, jotka ovat opiskelleet Brønsted–Lowry-mallin mukaisesti. Tämä osoittaa, että eroavaisuuksia mallien välillä ei ole tehty opetuksessa selväksi, jolloin opiskelijat pitävät kiinni ensiksi oppimastaan yksinkertaisemmasta mallista. Tämän tutkimuksen perusteella onkin perusteltua ehdottaa, että Suomessa seurattaisiin Ranskan esimerkkiä ja Arrheniuksen malli jätettäisiin pois toisen asteen opetussuunnitelmasta.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
Master's Degree Programme in Science and Engineering

PAANANEN, ILONA: "Acid is the opposite of base." – A phenomenographic study of the acid-base conceptions of students of technology after upper secondary school

Master of Science Thesis, 74 pages, 14 Appendix pages

May 2014

Major: Chemistry

Examiners: University lecturer Terttu Hukka, PhD Sari Yrjänäinen

Keywords: Acid-base chemistry, Arrhenius model, Brønsted–Lowry model, phenomenography, learning, conception, misconception

Acid-base chemistry is a part of basic chemistry that is taught in elementary schools, upper secondary schools, and universities. During the years, its theory has developed from the ancient model to the Arrhenius model and further through the Brønsted–Lowry model to the Lewis model. In Finnish upper secondary schools, acid-base chemistry is taught first following the Arrhenius model in the introductory chemistry course and later in the advanced chemistry course, following the newer Brønsted–Lowry model. This historical approach can provide the student with a good overview of the nature of scientific knowledge, but it can also cause misconceptions. These misconceptions can easily link to the network of concepts and therefore, according to the theory of constructivism, hinder learning. To fix misconceptions they need to be first identified.

In this Master of Science thesis, the conceptions of acid-base chemistry after upper secondary school were studied by using a phenomenographic approach. The goal of a phenomenographic study is to form a concept space of all the concepts there is of a certain phenomenon. If students' concepts of acid-base chemistry are known, it's possible to target the teaching to fix the misconceptions. The research method used in this study was a survey study that was carried out at the Tampere University of Technology in the autumn of 2013 on the first lecture of the first chemistry course. The students had not yet studied chemistry at university level. The study gathered 60 answers. In addition to mapping out the conceptions, the study aimed to answer the question of how the Arrhenius model affects the understanding of acid-base chemistry. This main research question was examined by proposing sub-questions concerning the understanding of the micro level, the differences between acid-base models and the neutralising reaction.

Two widespread misconceptions were observed in this study: in the first misconception, the difference between weak and strong acid is misunderstood as a difference in concentration, and in the second, the product of a neutralising reaction is thought to always be neutral. In addition, it was observed that the Arrhenius model affects the understanding of acid-base chemistry even among the students who had studied the Brønsted–Lowry model. This shows that the differences between the models haven't been emphasised to the students, so the students hold on to the simpler model learned first. According to this study it is justified to suggest that Finland would follow the example set by France and cut the Arrhenius model from the programme of the secondary schools.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Tampereen teknillisen yliopiston Kemian ja biotekniikan laitoksella. Työhöni sain rahoitusta Tellervo ja Juuso Waldenin säätiöltä. Diplomityöni ohjaajana ja tarkastajana toimi dosentti Terttu Hukka, jota haluan kiittää sekä mielenkiintoisen aiheen esittelystä että rakentavasta ja asiantuntevasta palautteesta. Haluan kiittää häntä myös itse keräämänsä tutkimusaineiston antamisesta tutkimukseni käyttöön. Lisäksi haluan kiittää työni toista tarkastajaa FT Sari Yrjänäistä Tampereen yliopistolta, jonka asiantunteva palaute antoi minulle uutta näkökulmaa ja auttoi työni loppuunsaattamisessa.

Haluan kiittää koko kemian laitoksen henkilökuntaa mukavasta työilmapiiristä ja päivittäisestä lounasseurasta virkistävine keskusteluineen. Erityisesti haluan kiittää lehtori Marja Asp-Lehtistä kyselylomakkeeni arvioinnista sekä siitä, että sain kuluttaa aikaa hänen luennoitaan kyselyn suorittamiseen. Ystävälleni Otolle kuuluvat suuret kiitokset niistä korvaamattomista neuvoista ja kannustuksen sanoista, joita olen kuukausien kuluessa saanut. Kiitokset Sannalle, jonka tuki ja englanninkielen taito ovat olleet arvokkaita. Myös perheeni ja ystäväni ansaitsevat kiitokset tuesta, kannustamisesta ja kärsivällisyydestä.

Diplomityön tekeminen on ollut mielenkiintoinen projekti, jota aloittaessani en voinut aavistaa, minkälainen kokemus siitä tulee. Työtä tehdessä olen oppinut paljon itsestäni ja työtavoistani, sekä saanut uutta näkemystä opettamiseen, mikä auttaa tulevaisuudessa työurallani.

Ilona Paananen
Tampere 23.4.2014

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	i
ABSTRACT	ii
ALKUSANAT	iii
SISÄLLYSLUETTELO.....	iv
TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT.....	vi
1 Johdanto.....	1
1.1 Työn taustaa	1
1.2 Tutkimuskysymykset ja työn tavoite	2
1.3 Tutkimuksen suoritus	2
1.4 Työn rakenne.....	3
2 Teoreettinen tausta	4
2.1 Hapot ja emäkset	4
2.2 Oppiminen	5
2.3 Käsitykset ja virhekäsitykset.....	7
2.3.1 Kemian luonteen kolmikantaisuus.....	9
2.3.2 Mallihämmennys	9
2.3.3 Termistö	11
2.4 Muu aiheesta tehty tutkimus	11
3 Tutkimusmetodologia ja -aineisto.....	15
3.1 Tutkimusmenetelmä	15
3.1.1 Fenomenografia.....	15
3.1.2 Fenomenografinen tutkimus.....	15
3.1.3 Fenomenografian kritiikki.....	18
3.2 Tutkimusaineisto	18
3.2.1 Taustatutkimusaineisto ja sen käsittely.....	18
3.2.2 Kyselylomaketutkimus.....	21
3.2.3 Kyselylomakkeen testaus ja kyselyn suoritus	22
4 Tulokset ja niiden tarkastelu	25
4.1 Hapon määrittely	25
4.1.1 Määrittely ominaisuuden perusteella	26
4.1.2 Määrittely pH-arvon perusteella	27
4.1.3 Aistinvarainen määrittely	28

4.1.4 Analyysia ensimmäisen kysymyksen vastauksista	28
4.2 Happo-emäsmallit	30
4.3 Happo-emäsreaktioiden kaavat	31
4.4 Neutraloitumisreaktio	34
4.5 Konjugaattiparit.....	38
4.6 Happo mikrotasolla	42
4.6.1 Vahva ja heikko happo.....	42
4.6.2 Vahvan hapon väkevä ja laimea vesiliuos.....	49
4.6.3 Analyysia kuudennen kysymyksen vastauksista	55
4.7 Neutraloituminen mikrotasolla.....	56
5 Päätelmät	63
5.1 Tutkimuskysymysten tarkastelu	63
5.1.1 Mikrotason ymmärtäminen	63
5.1.2 Mallieroavaisuuksien ymmärtäminen	64
5.1.3 Neutraloitumisreaktion ymmärtäminen	65
5.1.4 Arrheniuksen mallin vaikutus happo-emäskemian ymmärrykseen	65
5.2 Tutkimuksen tieteellisen kontribuution arviointi	66
5.3 Työn rajoitteet ja onnistumisen arviointi	67
5.4 Toimenpidesuosituksset	68
5.5 Jatkotutkimusaiheet	69
Lähteet.....	70
Liitteet (7 kpl)	

TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

Ennakkokäsitys	Ennen formaalia opetusta syntynyt käsite, joka voi olla oikea tai virheellinen
Fenomenografia	Laadullisen tutkimuksen suuntaus, joka ei tutki ilmiötä vaan siitä olemassa olevia käsityksiä
Hybridimalli	Ajatusmalli, johon on yhdistelty osia eri malleista
Konstruktiivinen oppimiskäsitys	Oppimiskäsitys, jonka mukaan uusi tieto rakentuu vanhan pohjalle
Kuvauskategoria-järjestelmä	Kuvauskategorioiden kokonaisuus
Käsite	Tieteellinen termi
Käsiteavaruus	Ilmiöstä olemassa olevien käsitysten kokonaisuus
Käsiteverkosto	Tapa säilyttää informaatiota, missä uusi informaatio linkittyy vanhaan
Käsitys	Oma ymmärrys käsitteestä
Makrotaso	Havaitut ilmiöt
Malli	Teorian esittelemä tapa kuvata ilmiötä
Merkitysyksikkö	Vastauksesta löydetty ajatuksellinen kokonaisuus
Mikrotaso	Partikkelit ja niiden reaktiot
Määritelmä	Teorian mukainen tieteellinen määritelmä
Määrittely	Opiskelijan itsensä tekemä sen mukaan, mikä käsitys hänellä on tieteellisestä määritelmästä
Symbolinen taso	Kaavat ja reaktioyhtälöt
Teoria	Tieteellinen selitys ilmiölle
Virhekäsitys	Käsitys, joka poikkeaa ajankohtaisesta tieteellisestä tiedosta

1 Johdanto

Johdannossa käydään lävitse työn taustaa sekä happo-emäskemian että oppimisen kannalta. Tämän jälkeen esitellään tutkimuksen päätutkimuskysymys sekä alatutkimuskysymykset ja koko työn tavoite. Lopuksi luodaan katsaus tutkimuksen suoritukseen sekä kirjallisen työn rakenteeseen.

1.1 Työn taustaa

Happo-emäskemia on yksi kemian perusalueista. Tieteellisen tiedon luonteen mukaisesti myös happo-emästeoriat ovat kehittyneet aikojen saatossa Antiikin aikaisesta kuvailevasta mallista aina elektroniparit huomioivaan Lewis-malliin. (Drechsler & Van Driel 2008; Hudson 2002.) Keskeisen asemansa vuoksi happo-emäskemia on myös kirjattuna niin perusopetuksen kuin lukionkin opetussuunnitelmaan (Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2004; Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003). Sitä opetetaan jokaisella koulutustasolla luokka-asteesta riippuvalla hienostuneisuudella. Yleinen käytäntö on edetä opetuksessa historiallisen lähestymistavan mukaisesti siten, että alakoulussa happoihin ja emäksiin tutustaan antiikkisen, aisteihin perustuvan mallin mukaisesti ja yläkoulussa näkemystä syvennetään Arrhenius-mallin mukaiseksi. Lukion syventävällä kurssilla siirrytään Brønsted–Lowry-malliin ja korkeakoulussa näkemystä laajennetaan Lewis-malliin. (Aho 2005.) Tässä työssä keskitytään tutkimaan lukion jälkeisiä käsityksiä happo-emäskemiassa.

Konstruktivistisen oppimiskäsityksen mukaan uusi tieto linkittyy olemassa oleviin käsitteverkostoihin. (Shiland 1999.) Näin ollen vanha tieto luo pohjaa uudelle. Mikäli uutta tietoa ei ymmärretä, se jää käsitteverkostoon irrallisena yksikkönä, joka on helppo unohtaa. (Gabel 1999.) Joskus asia ymmärretään väärin, jolloin se liittyy käsitteverkostoon virheellisenä käsityksenä. (Gilbert et al. 1982.) Virheelliset käsitykset voivat haitata uuden oppimista, joten niiden korjaamiseen on syytä kiinnittää huomiota. Tätä ei kuitenkaan voida tehdä, mikäli virheellisiä käsityksiä ei ole tiedostettu. (Abraham et al. 1992.) Juuri tämän takia käsitteiden kartoitus on tärkeää.

Aiemmissa virhekäsitystutkimuksissa on havaittu kolme merkittävää syytä virhekäsitysten synnylle: kemian luonteen kolmikantaisuus (Barke et al. 2009; Carr 1984; Aho 2005), hämmennys eri mallien käytöstä (Drechsler & Van Driel 2008; Coll & Treagust 2003; Drechsler & Schmidt 2005) ja termistön monimerkityksellisyys (Schmidt 2000; Gabel 1999; Schmidt 1991). Kemian luonteen kolmikantaisuudella tarkoitetaan makroskooppisen, mikroskooppisen ja symbolisen tason eroja. Kemiassa havaintoja tehdään makrotasolla, joka käsittää kaiken, mitä voidaan nähdä ja koskea. Nämä havaitut ilmiöt johtuvat mikrotason tapahtumista, kun ionit ja molekyylit reagoivat. Ilmiöitä taas kuvataan symbolisella tasolla reaktioyhtälöin, merkein ja kaavoin. Hämmennyksellä eri mallien käytöstä tarkoitetaan tietämättömyyttä siitä, mitä happo-emäsmallia kulloinkin käytetään ja miten ne eroavat toisistaan. Termistön monimerkityksellisyys taas viittaa termeihin kuten neutraali, jolla on useampi merkitys riippuen siitä, mistä kemian osa-alueesta puhutaan.

Tässä työssä haluttiin tutkia, aiheuttavatko nämä ulkomaisissa tutkimuksissa havaitut syyt virhekäsityksiä myös Suomessa. Mielenkiinto kohdistui erityisesti eri mallien

käyttöön, sillä lukiossa opiskellaan sekä Arrheniuksen että Brønsted–Lowry-mallin mukaisesti.

1.2 Tutkimuskysymykset ja työn tavoite

Happo-emäskemian virhekesityksistä on tehty useita kansainvälisiä tutkimuksia (Cokelez 2010; Cros et al. 1988; Demircioglu et al. 2005; Drechsler & Van Driel 2008; Drechsler & Van Driel 2009; Hand & Treagust 1991; Kala et al. 2013; Kousathana et al. 2005; McClary & Talanquer 2011; Nakhleh & Krajcik 1994; Schmidt 1995), mutta kohtimaista tutkimusta ei aiheesta ole juuri aiemmin julkaistu. Suomessa virhekesityksiä on tutkittu muun muassa atomirakenteesta (Asunta & Joki 2003), kemiallisesta tasapainosta (Inkala 2004) ja kemiallisista sidoksista (Gustafsson 2007). Virhekesitysten tutkiminen on tärkeää, sillä sen avulla opetusta voidaan kehittää niiden korjaamiseen.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on kartoittaa niitä kesityksiä, joita teknisesti suuntautuneilla ylioppilailla on happo-emäskemiasta. Tämän kartoituksen avulla lukio-opetusta voidaan paremmin kohdentaa korjaamaan mahdollisia virhekesityksiä ja estämään niiden syntyä. Kartoituksen lisäksi tutkimuksessa haluttiin selvittää, onko Suomessa nähtävissä niitä virhekesityksiä, joita on havaittu ulkomaisissa tutkimuksissa.

Koska tämä tutkimus kohdistuu lukio-opetukseen, kiinnittyi mielenkiinto erityisesti eri mallien opettamiseen. Historiallinen lähestymistapa voi tuottaa oppilaalle hyvän kesityksen tieteellisestä tiedosta ja sen kehityksestä. Se voi myös aiheuttaa monia virheellisiä kesityksiä, mikäli opetuksessa ei tuoda selkeästi ilmi siirtymistä mallista toiseen. (Drechsler & Van Driel 2008.) Työn päätutkimuskysymykseksi muotoutui:

Miten Arrheniuksen malli vaikuttaa happo-emäskemian ymmärtämiseen?

Päätutkimuskysymyksen laajuuden vuoksi luotiin myös alatutkimuskysymyksiä, joiden avulla päätutkimuskysymystä voidaan tarkastella. Alatutkimuskysymykset syntyivät ulkomaalaisissa tutkimuksissa havaittujen, keskeisten virhekesityksiä luovien syiden pohjalta. Alatutkimuskysymykset ovat:

Miten happo-emäskemian ilmiöitä ymmärretään mikrotasolla?

Miten happo-emäsmallien eroavaisuudet ymmärretään?

Millaiseksi neutraloitumisreaktio ymmärretään?

Tutkimuksen välittömänä hyötynä on mahdollisten yleisten virhekesitysten paljastuminen. Kun virhekesitys tiedostetaan, voidaan sen korjaamiseen keskittyä opetuksessa. Mikäli virhekesityksille havaitaan selkeitä syitä, voivat tutkimuksen mahdolliset hyödyt olla laajemmat. Tällöin opetusta voitaisiin muuttaa siten, että virhekesityksiä aiheuttavat asiat karsittaisiin pois.

1.3 Tutkimuksen suoritus

Tässä tutkimuksessa happo-emäskemian kesityksiä on tarkasteltu fenomenografian keinoin. Fenomenografia on laadullisen tutkimuksen laji, joka tutkii ihmisten erilaisia kesityksiä ilmiöistä. Tutkimussuuntauksen perustajana pidetty Ference Marton on esittänyt, että on olemassa rajallinen määrä tapoja, joilla ihmiset kokevat, kesittävät ja ymmärtävät tiettyä ilmiötä. Fenomenografian tavoitteena on kuvata tätä ajattelutapojen erilaisuutta ja löytää käytettävän aineiston perusteella käsiteavaruus, joka pitää sisällään

kaikki erilaiset mahdollisuudet. Tätä tutkimusmetodia voidaan käyttää hyödyksi opetuksessa, sillä huolellinen selvitys eri käsityksistä voi auttaa selvittämään sekä virhekäsitysten syitä että edellytyksiä niiden korjaamiseen.

Tutkimus on toteutettu kyselytutkimuksena ja siinä käytetty kyselylomake on luotu tutkijan käyttöön saaman tausta-aineiston (Hukka s.a.) pohjalta. Kyselytutkimus pidettiin syksyllä 2013 Tampereen teknillisessä yliopistossa kemian peruskurssin opiskelijoille kurssin aloitusluennon alussa. Vastauksia kerättiin yhteensä 60 kappaletta. Vastauksista etsittiin ajatuksellisia kokonaisuuksia, merkitysyksiköitä, joita luokiteltiin samankaltaisuuksien perusteella kategorioiksi ja edelleen laajemmiksi käsitekategorioiksi. Näistä muotoutui kuvauskategoriat ja kuvauskategoriajärjestelmä, joka esittää etsittyä käsitevaruutta. Kyselyn kysymykset käsiteltiin kukin erikseen ja jokaisesta pyrittiin luomaan oma kuvauskategoriajärjestelmänsä.

1.4 Työn rakenne

Työ jakautuu neljään varsinaiseen osioon. Nämä ovat teoreettinen tausta, tutkimusmenetelmä ja -aineisto, tulokset ja niiden tarkastelu sekä päätelmät.

Työn teoriaosuudessa esitetään ensin happo-emäskemian teoriaa ja sen eri malleja, jonka jälkeen tarkastellaan oppimisprosessia yleisesti. Tämän jälkeen perehdytään käsitteisiin ja virhekäsityksiin sekä virhekäsityksiä synnyttäviin kemian erityispiirteisiin. Lopuksi vielä tehdään katsaus muuhun aiheesta tehtyyn tutkimukseen.

Tutkimusmenetelmät ja -aineisto -luvussa perehdytään tutkimuksen laadulliseen ja fenomenografiseen otteeseen ja tutustutaan tarkemmin tutkimuksessa käytettyihin taustatutkimusaineistoihin. Luvussa myös esitellään kyselylomaketutkimus tutkimusmenetelmänä ja kerrotaan kyselylomakkeen testauksesta sekä kyselyn suorittamisesta.

Tulokset ja niiden tarkastelu -luvussa seurataan aineiston analyysin kulkua ja perehdytään saatuihin tuloksiin. Kyselyn kysymykset on käsitelty erikseen omissa alaluvuissaan.

Viimeisessä luvussa esitetään päätelmät, kun tutkimuskysymyksiä tarkastellaan lähemmin. Luvussa myös arvioidaan tutkimuksen tieteellistä kontribuutiota, sen rajoitteita ja onnistumista. Lopuksi esitetään tutkimuksen perusteella määritettyjä toimenpidesuosituksia ja mahdollisia jatkotutkimusaiheita.

2 Teoreettinen tausta

Tässä luvussa perehdytään työn teoreettiseen taustaan. Aluksi käydään lävitse happo-emästeorioiden kehittymistä, jonka jälkeen siirrytään tarkastelemaan oppimisen teoriaa. Tämän jälkeen perehdytään sekä käsityksiin että virhekäsityksiin ja perehdytään tarkemmin virhekäsitysten syntyyn. Lopuksi vielä tarkastellaan muuta aiheesta tehtyä tutkimusta.

2.1 Hapot ja emäkset

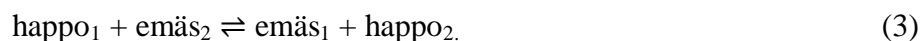
Tiede kehittyy, kun uusia teorioita esitetään vanhojen tilalle, jotta luonnonilmiöille saadaan paremmat ja pätevämmät selitykset. Happojen ja emästen teorat ovat kehittyneet antiikkisesta mallista Arrhenius- ja Brønsted–Lowry-mallien kautta aina Lewis-malliin. (Drechsler & Van Driel 2008.) Antiikkinen malli kuvasi happoja ja emäksiä ilmiötasolla, jossa määrittäminen tapahtui aineen ominaisuuksien mukaan. Hapot tunnistettiin ensin aineina, jotka maistuivat kirpeiltä. Emäkset puolestaan luokiteltiin karvaan maun ja niiden liukkaan tuntuman perusteella. (Carr 1984.) Svante Arrheniuksen vuonna 1864 julkaisema teoria selittää hapot ja emäkset sekä ilmiötasolla että myös osittain partikkelitasolla. Hän oli ensimmäinen, joka luokitteli hapot ja emäkset niiden rakenteellisten ominaisuuksien perusteella. Elektrolyyttikokeiden avulla Arrhenius päätteli, että hapot luovuttavat vesiliuokseen vetyionin, eli protonin, H^+ ja emäkset hydroksidi-ionin OH^- . (Barke et al. 2009, s. 13.) Näin ollen happo ja emäs neutraloituvat vedeksi yhtälön (1) mukaisesti.



Arrheniuksen mallin mukaan haposta jäänyt negatiivinen ioni ja emäksestä jäänyt positiivinen ioni yhdistyvät suolaksi, jolloin Arrheniuksen yhtälö saa yleisesti tunnetun muotonsa, jota kuvaa yhtälö (2).



Arrheniuksen malli oli suuri askel happo-emäskemialle, mutta siinä oli rajoituksena. Malli rajoittui vain vesiliuoksiin ja emäksiksi luettiin vain yhdisteet, joista saadaan vesiliuoksessa hydroksidi-ioni. Malli myös pysyi ilmiötasolla sen käsitellessä happoja ja emäksiä aineina, joiden ominaisuudet yhdistyivät vety- ja hydroksidi-ioneihin. Näihin rajoituksiin puututtiin, kun Johannes Brønsted ja Thomas Lowry esittelivät toisistaan tietämättä yleisemmän happo-emästeorian vuonna 1923. (Hudson 2002.) Brønsted–Lowry-malli, myöhemmin tässä tekstissä lyhennetty Brønsted-malliksi, nojaa kokonaan partikkelitasoon sen määrittellessä hapot ja emäkset partikkeleiksi. Tämän teorian mukaan hapot ovat protonin luovuttajia ja emäkset puolestaan protonin vastaanottajia. (Drechsler & Van Driel 2008.) Näin emäksien joukko laajentui käsittämään muun muassa ammoniakkin ja malli hyväksyi muutkin kuin vesiliuokset. Brønstedin teorian mukaan happo-emäsreaktio voidaan luokitella protoninsiirtoreaktioksi, joka esitetään seuraavasti:



Brønstedin malli tuo esille konjugaattiparin käsitteen. (Barke et al. 2009.) Konjugaattipari on happo-emäspari, jossa happo ja emäs eroavat toisistaan yhdellä siirtyneellä protonilla. Yhtälössä (3) on kaksi konjugaattiparia: happo_1 ja emäs_1 sekä emäs_2 ja happo_2 .

Koska protoni ei voi esiintyä vesiliuoksessa yksinään, se reagoi vesimolekyylin kanssa muodostaen oksoniumionin H_3O^+ . Tällöin neutralointiyhtälö (1) saadaan muotoon, jota kuvaa yhtälö (4).



Carr (1984) tiivistää Arrheniuksen ja Brønstedin teorioiden eroavaisuudet seuraavasti.

Arrhenius	Brønsted
Hapot ja emäkset ovat aineita pullossa.	Hapot ja emäkset ovat partikkeleita.
NaOH on emäs.	OH^- on emäs NaOH:ssa.
$\text{happo} + \text{emäs} \rightarrow \text{suola} + \text{vesi}$.	$\text{happo}_1 + \text{emäs}_2 \rightleftharpoons \text{emäs}_1 + \text{happo}_2$.
Suolojen hydrolyysi selitetään monimutkaisella teorialla.	Suolojen hydrolyysi on teorian selkeä jatkumo.

Gilbert Lewis julkaisi oman teoriansa hapoista ja emäksistä samana vuonna Brønstedin ja Lowryn kanssa. Tämä teoria laajensi happojen ja emästen käsitteitä Brønsted-mallia pidemmälle. Lewis-mallissa happo määritetään elektroniparin vastaanottajaksi ja emäs elektroniparin luovuttajaksi. (Hudson 2002.)

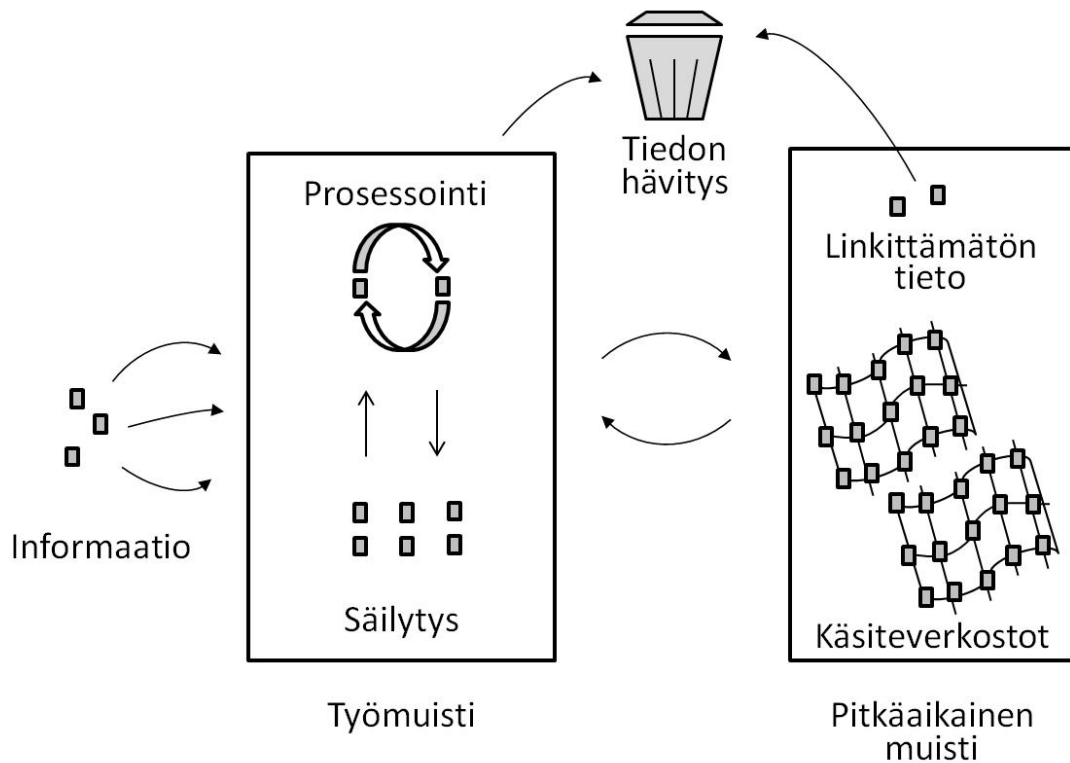
2.2 Oppiminen

Aivojen toiminnan hahmottaminen auttaa ymmärtämään, kuinka oppiminen tapahtuu. Aistien tuottama uusi informaatio menee ensin lähimuistiin, jota kutsutaan myös työ- tai lyhytmuistiksi. Tällä on rajoitettu kapasiteetti. Tieto voidaan joko hävittää tai siirtää pitkäaikaiseen muistiin, jossa se liittyy vanhoihin, olemassa oleviin käsitteverkkoihin laajentaen niitä. Mikäli uutta tietoa ei osata linkittää olemassa olevaan käsitteverkostoon, säilötään se yksittäisenä kokonaisuutena. Nämä linkittämättömät, yksittäiset tiedot kaatoavat helposti. (Gabel 1999.)

Työmuistilla on kaksi funktiota. Se on mielen tietoinen osa, jossa sekä prosessoidaan että säilytetään tietoa. Rajoitettu kapasiteetti on jaettava näiden funktioiden välillä. Jos työmuistiin tulee paljon muistettavia asioita, ei prosessoinnille jää tilaa ja jos taas on paljon prosessoitavaa, emme pysty säilömään tietoa. (Johnstone 1997.) Opettajan onkin otettava tämä huomioon esimerkiksi laboratoriotöitä suunniteltaessa. Mikäli kokeessa on paljon taustahälyä, kuten laitteiston kokoamisohjeita tai vieraita termejä, on oppilaiden vaikea keskittyä itse asiaan, kun taustahälyn ymmärtäminen vie oman osansa työmuistista. (Gabel 1999.) Tuttujen materiaalien käyttö opetuksessa edistää oppimista, sillä kosketuspinta jokapäiväiseen elämään motivoi oppimiseen. Tutut aineet eivät myöskään rasita työmuistia yhtä paljon kuin vieraat materiaalit.

Tiedon karttuessa tiedonpalasia pystytään pakkaamaan isommiksi kokonaisuuksiksi, joita voidaan käsitellä yhtenä. Näin työmuisti pystyy käsittelemään enemmän asioita kerralla. Pakkaamisen tehokkuus riippuu olemassa olevien käsitteverkostojen laajuudesta, jonka avulla uutta tietoa järjestellään ja linkitetään olemassa olevaan tietoon. (Johnstone 1997.) Muistin toimintaa on esitelty kuvassa 2.1, jossa pyritään havainnollistamaan

informaation kulku työmuistin prosessoinnin ja säilytyksen kautta osaksi pitkäaikaisen muistin käsiteverkostoja.



Kuva 2.1 Kaaviokuva informaation kulusta aivojen työmuistissa ja pitkäaikaisessa muistissa.

Nakhlehin ja Krajcikin (1994) tutkimus on hyvä esimerkki työmuistin toimimisesta. He tutkivat, kuinka erilaisten pH:n mittaustekniikoiden antama tieto vaikuttaa happo-, emäs- ja pH-käsitteiden oppimiseen. Tutkimuksessa oppilaat tekivät happo-emästitrauksia käyttäen kolmea eri menetelmää: tietokonepohjaista mittaustekniikkaa, pH-mittaria ja kemiallisia indikaattoreita. Tekniikat antoivat oppilaille eritasoista informaatiota. Tutkimuksessa havaittiin, että tietokonepohjaista menetelmää käyttäneet oppivat parhaiten ja pH-mittaria käyttäneet huonoiten. Tulos selitetään sillä, että laboratoriotyö kuormittaa työmuistia, mutta tietokonetta voi käyttää apumuistina tiedon säilyttämiseen. Tällöin prosessoinnille jää enemmän tilaa ja oppiminen tehostuu. Toisaalta pH-mittari antaa enemmän informaatiota kuin kemiallinen indikaattori, jossa havaitaan vain värinmuutos. Näin ollen havaintojen suuri määrä vie työmuistissa tilaa prosessoinnilta, jolloin oppimisen taso jää heikommaksi. (Nakhleh & Krajcik 1994.)

Oppimiskäsitystä, jossa tietoa siirretään työ- ja pitkäaikaismuistien välillä uuden tiedon linkittyessä olemassa oleviin käsiteverkostoihin kutsutaan konstruktivistiseksi oppimiskäsitykseksi. Se voidaan tiivistää yhteen ajatukseen: tieto rakentuu oppijan päässä. (Shiland 1999.) Oppiminen on siis oppijan aktiivista työskentelyä, jossa uutta tietoa peilataan olemassa olevan tiedon ja kokemuspohjan kautta rakentaen laajempaa tieto- ja käsiteverkostoa. Koska jokaisen kokemuspohja on yksilöllinen, ovat oppimistavatkin yksilöllisiä ja tämä on otettava huomioon opettamisessa. Opettajalta vaaditaan paljon, jotta tämä pystyy tukemaan jokaisen oppilaan yksilöllistä oppimista. Tietoa ei voida vain kaataa oppilaan päähän, vaan oppilaan oma ajattelu on keskeistä uuden opettelussa.

Oppiminen voidaan ajatella spektrinä, jonka toisessa päässä on syvä oppiminen ja toisessa päässä pinnallinen. Syvä oppiminen on tarkoituksellista oppimista, jossa uusi

tieto linkittyy oikealla tavalla vanhaan tietoon ja ymmärrykseen, eli olemassa olevaan tieto- ja käsiteverkostoon. Se on linkittynyttä, moniulotteista ja pysyvää. Pinnallinen oppiminen on ulkolukuoppimista, jossa uudelle tiedolle ei löydetä yhteyksiä vanhaan. Se on vaivalloista ja usein ajan haaskausta, sillä linkittymätön tieto unohdetaan helposti tai hylätään tietoisesti, mikäli se on ristiriidassa vanhojen käsitysten kanssa. (Johnstone 1997.)

Mikäli opetuksessa ja oppikirjoissa sivuutetaan luonnontieteen historia, jää luonnon-tieteellisen tiedon luonne ja teorioiden kehittyminen helposti oppilailta oivaltamatta. Kemia on kehittynyt kokeiden kautta pitkän ajan kuluessa, jolloin sen käsitteet ja teoriat ovat kehittyneet ja löytäneet nykyisen muotonsa. Tällöin aluksi epäuskottavilta kuulostaneet teoriat ovat korvanneet arkipäiväiset uskomukset. (Ahtee 1998, Ahosen 2005 mukaan.) Mikäli oppilas ei ymmärrä tieteen kehityskaarta, voi hänen alttiutensa väärinymmärryksille lisääntyä. Luonnontieteen nykyistä tietoutta ei voida siirtää sellaiseen oppilaisiin, vaan oppilaiden on ymmärrettävä, että he ovat itse vastuussa oppimisestaan, mikä on usein pitkää ja vaivalloista työtä. (Nakhleh 1994.)

2.3 Käsitykset ja virhekäsitykset

Yhdellä asialla on aina kaksi puolta, käsite ja käsitys. Käsite on jokin tieteellinen termi, esimerkiksi kemiallinen sidos, josta oppilaalla on oma käsityksensä. Tämän käsityksen oppilas on muodostanut omien kokemustensa perusteella. (Syrjälä et al. 1994, Gustafssonin 2007 mukaan.) Ennakkokäsitys on ennen formaalia opetusta syntynyt käsitys, joka voi olla oikea tai virheellinen. Tieteessä virhekäsitys taas määritetään yleisesti sellaisena käsitteen esityksenä, joka eroaa ajankohtaisesta tieteellisestä teoriasta. Virheestä virhekäsitys eroaa siinä, että oppilaat tunnistavat itse omat virheensä, kun ne heille osoitetaan. Virhekäsitykset voivat olla vaikeasti tunnistettavissa ja niitä ei ole helppo muuttaa. (Lewis & Linn 1994; Schmidt 1997.)

Ennakkokäsitykset syntyvät ennen formaalia opetusta ja niillä on monia lähteitä. Sanat ja termit, jotka tarkoittavat eri asiaa arkikielessä ja tieteessä, tai joiden merkitys on ajansaatossa muuttunut, voivat aiheuttaa virheellisiä ennakkokäsityksiä. Lisäksi sekä jokapäiväisen elämän ilmiöt että mediasta ja perheeltä saatu tieto voivat edesauttaa virheellisten ennakkokäsitysten syntyä. (Demircioğlu et al. 2005.) Luokkaan tullessaan oppilas tuokin mukanaan omat oikeat ja virheelliset ennakkokäsityksensä. Oppilaan käsitykset opetettavasta asiasta vaikuttavat siihen, kuinka hän omaksuu uutta tietoa. Oppilas voi joko omaksua opetettavan käsityksen sellaisenaan, tai hänen käsityksensä voi muotoutua eräänlaiseksi ennakkokäsityksen ja formaalin käsityksen hybridikäsitykseksi. Voi myös olla, että oppilaan käsitykset eivät muutu lainkaan, jolloin mahdollisesti virheellinen ennakkokäsitys jää oppilaan käsiteverkostoon. (Gilbert et al. 1982.)

Formaalin opetuksen myötä oppilaalle voi syntyä kaksi kilpailevaa näkökulmaa, koulutieto ja arkitieto. Toinen, jota käytetään koulussa ja toinen, mahdollisesti virheksitteellinen, jota käytetään koulun ulkopuolella. (Hand & Treagust 1988.) Näitä osataan harvoin yhdistää. Oppilaat ovatkin usein haluttomia käyttämään oppimiaan teorioita käytännössä ja siirtämään tieteellistä tietoa jokapäiväiseen elämään. Käytännönläheisyys on tärkeä aspekti opetuksessa, koska sillä tehdään aiheesta oppilaille tuttua ja siten merkittävää. (Ozmen 2011.)

Eri käsitykset voidaan luokitella myös konkreettisiksi ja formaaleiksi. Konkreettiset käsitykset ovat niitä, jotka opitaan suorasta kokemuksesta, kun taas formaali käsitys on teoreettisempaa ja vaatii oppijan siirtymistä kokemusmaailman ulkopuolelle. Tällöin päätelmät on perustettava logiikkaan. Jos oppilas ei ole vielä siirtynyt formaalin ajattelun tasolle, on hänen vaikea opetella sitä vaativia käsitteitä. Tällöin helposti turvaudu-

taan ulkomuistiin, jolloin oppiminen on pinnallista ja helposti unohdettavissa. (Abraham et al. 1992.) Oppilaille voikin olla vaikeaa käsittää abstraktia ja perimmäiseltä olemukseltaan matemaattista ja arkikokemukselle vierasta asiaa. Tällöin aiheen huolimaton konkretisointi ja huolimaton havainnollistaminen kielikuvien voivat tuottaa uusia väärinymmärryksiä. (Asunta & Joki 2003.)

Konstruktivistisen oppimiskäsityksen mukaan virhekäsitysten korjaaminen on tärkeää, sillä muuten uusi tieto voi linkittyä virheellisiin käsityksiin ja täten haittaa oppimista. Pahimmassa tapauksessa käsiteverkostoa ei synny ollenkaan, vaan tieto jää irrallisiksi käsitteiksi ja on helposti unohdettavissa. Tällöin oppilas palaa herkästi takaisin vanhoihin, mahdollisesti virheellisiin käsityksiinsä.

Jotta opettaja voi auttaa oppilaitaan pääsemään irti virhekäsityksistä, on opettajan ensin tiedostettava niiden olemassaolo. Tämä voi olla vaikeaa, varsinkin jos oppilaan käsitys on lähellä oikeaa tieteellistä käsitystä. Oppilaalle tulisi antaa tilaisuus puhua omista ideoistaan ja käsityksistään, jolloin hän joutuu perustelemaan niitä. Täten mahdolliset virhekäsitykset voivat paljastua. (Abraham et al. 1992.) Yakmaci-Guzel (2013) ehdottaakin, että opettajankoulutuksessa olisi panostettava virhekäsitysten kartoittamisen ja korjaamisen opetteluun. Diagnostisia kysymyksiä käyttämällä voidaan kartoittaa oppilaiden ymmärrystä, jonka jälkeen opetusta voidaan kohdentaa virhekäsitysten korjaamiseen. (Barker & Millar 1999.) Kemian opetuksen tulisikin olla silta oppilaan ennakkokäsitysten ja nykypäivän tieteellisen tiedon välillä. (Barke et al. 2009, s. 28.) Kun opetus ottaa huomioon oppilaiden mahdolliset virhekäsitykset, ovat oppimistulokset parempia. (Demircioğlu et al. 2005.)

Metakognitiiviset taidot edistävät oppimista. Niillä tarkoitetaan taitoa arvioida omaa oppimista ja käsityksiä, sekä kykyä kontrolloida omaa oppimista. (Baird & White 1996, Gustafssonin 2007 mukaan.) Jotta oppilas pystyy muuttamaan virheellisen käsityksensä tieteellisesti hyväksytyksi, on hänen pystyttävä havaitsemaan virheellinen käsitys sekä sen virheellisyys. Näitä taitoja voidaan harjoittaa. Posner et al. (1982) mukaan oppilaan virheellisten käsitysten muuttamiseen tarvitaankin seuraavat neljä askelta. 1) Oppilaan on tultava tyytymättömäksi olemassa oleviin käsityksiinsä. 2) Uuden käsityksen on oltava ymmärrettävissä. 3) Uuden käsityksen on oltava uskottava. 4) Uuden käsityksen on oltava hyödyllinen. Näiden ehtojen täytyessä voi käsitteellinen muutos tapahtua. Käsityksen muutos on kuitenkin pitkän ajan kuluessa tapahtuva hidas prosessi. Oppilailla on tapana pitää kiinni olemassa olevista käsityksistään riippumatta niiden oikeellisuudesta. (Driver et al. 1985, Gustafssonin 2007 mukaan.)

Sen lisäksi, että opettajan on hyvä olla tietoinen oppilaiden ennako- ja virhekäsityksistä, on hänen ymmärrettävä myös oman tietämyksensä rajat. Gilbert (1982) on todennut, että opettajan tietämys tieteellisistä käsitteistä voi kattaa lähes kaiken aina lapsen ymmärryksestä tieteilijän ymmärrykseen verrattavaan tasoon. Tieteilijän ymmärryksellä tarkoitetaan yleisesti hyväksyttyä tieteellistä näkemystä. Opettajilla voi myös olla omia virhekäsityksiä. Banerjee (1991) ehdottaa tämän syyksi, että opettajat ovat kehittäneet virhekäsityksiä omina kouluaikoinaan ja ne ovat jääneet itämään ammatillisesta koulutuksesta huolimatta. Opettajien voi olla vaikea tunnistaa omia virhekäsityksiään, ja ne siirtyvät helposti opetuksen kautta oppilaille. (Bradley & Mosimege 1998.)

Myös oppikirjoihin on syytä kiinnittää huomiota. Ne toimivat usein luokassa tärkeinä sisällön ja jopa opetussuunnitelman korvaajina. Monet opettajat nojaavat opetuksensa vahvasti oppikirjaan. Onkin tärkeää, että oppikirjat eivät osaltaan aiheuta tai tue oppilaiden virhekäsityksiä. (Sanger & Greenbowe 1999.)

Johnstone (1997) tuo esille tutkimusryhmänsä määrittelemät kasvatukselliset käskyt.

- 1) Mitä opit, riippuu siitä, mitä jo tiedät ja ymmärrät.

- 2) Kuinka opit, riippuu siitä, kuinka olet aikaisemmin oppinut.
- 3) Mielekäs oppiminen linkittyy olemassa oleviin tietoihin ja taitoihin tuoden niihin jotain uutta.
- 4) Aivojen käsittelykapasiteetti on rajoitettu.
- 5) Jotta oppiminen on mukavaa, on palautteen oltava rakentavaa ja arvioinnin inhimillistä.
- 6) Eri oppimistavoista ja -motivaatioista tulee olla tietoinen.
- 7) Oppilaiden tulee olla tietoisia omasta oppimisestaan.
- 8) Ongelmanratkaisutaitojen harjoittelu edistää syvää oppimista.
- 9) Oppilaille tulee antaa tilaisuus perustella ja kokeilla omia ajatuksiaan.
- 10) Itse opettamalla oppii parhaiten.

Johnstone sanookin, että opettajien tulisi noudattaa näitä konstruktivistiseen oppimiskäsitykseen nojaavia teesejä opetuksessaan. Tällöin oppiminen olisi tehokasta ja mielekästä.

2.3.1 Kemian luonteen kolmikantaisuus

Kemiaa kuvataan kolmella eri tasolla, makroskooppisella, mikroskooppisella sekä symbolisella tasolla. Makroskooppinen taso on kaikki se, jota voidaan koskea, nähdä ja haistaa. Mikroskooppinen taso on partikkelitaso, johon lukeutuvat ionit, molekyylit ja kemialliset rakenteet. Symbolinen taso on näiden esitystaso, johon kuuluu kaavat, yhtälöt, kuvaajat ja kaaviot. (Barke et al. 2009)

Kemian opetus tapahtuu pääasiallisesti abstrakteimmalla, symbolisella tasolla. Opettajan on tärkeä ymmärtää kemian käsitteiden kolmikantaisuus. Jotta oppilas voi ymmärtää käsitteen mikroskooppisella tasolla, täytyy hänen kyetä yhdistämään mikrotason partikkelit symbolisen tason mallien ja makrotason havaintojen kanssa. Oppilaille kehittyy helposti pirstaloitunut näkemys kemiasta, mikäli tasojen yhdistäminen ei onnistu. Opettaja voi huomaamattaan edistää tätä, jos hän opetuksessaan liikkuu tasolta toiselle tekemättä eroa eri tasojen välille. Yksi syy siihen, että kemiaa pidetään hankalana aineena, on vaikeus ymmärtää tasolta toiseen siirtymistä laboratoriotöitä tehtäessä. Oppilaat havainnoivat laboratorioskokeita makroskooppisella tasolla, mutta opettaja olettaa heidän tulkitsevan havaitsemansa mikroskooppisella tasolla. Opettaja saattaa myös olettaa, että oppilaat pystyvät näkemään abstraktit kemialliset reaktiot samalla tavalla kuin he voivat seurata objektin lentorataa. (Carr 1984.) Näin ei kuitenkaan aina ole, ja kokeellinen työskentely jää helposti vain mukavan puuhastelun tasolle, jos oppilaalla on vaikeuksia yhdistää makrotason ilmiöitä mikromaailmaan ja partikkeleihin. (Ahonen 2005.) Uuden opettaminen on hyvä aloittaa tutusta makromaailman ilmiöstä, johon mikromaailma voidaan liittää. (Gabel 1999.)

2.3.2 Mallihämmennys

Historian aikana tieteellisiin kysymyksiin on kehitetty useampia vastauksia ja selityksiä, jolloin teorioita kuvaavat eriaisteiset mallit ovat kehittyneet. Näitä malleja pyritään opettamaan oppilaille. Tieto malleista, niiden käytöstä ja rajoituksista auttaa oppilaita saamaan paremman ymmärryksen tieteellisestä tiedosta ja sen luonteesta.

Tieteellinen käsite esitellään usein käyttämällä yksinkertaisempaa, vanhempaa mallia. Oppilaat ovat taipuvaisia hyväksymään ensimmäisenä esitetyn selityksen täysin, eivätkä tule miettineeksi, onko se myöhemmin ristiriidassa toisen asian kanssa. (Coll & Treagust 2003.) Kun oppilaat tutustutetaan uuteen, hienostuneempaan malliin, voi ilme-

tä vaikeuksia, mikäli vanhan mallin rajoituksia ja uuden mallin hyötyjä ei selkeästi tuoda esille. Oppilaat voivat pitäytyä vanhassa mallissa ja hylätä uuden mallin kokonaan tai yhdistellä ominaisuuksia vanhasta ja uudesta mallista eräänlaiseksi hybridimalliksi. (Drechsler & Van Driel 2008.)

Mikäli teorioiden historiallista kehitystä ei tuoda esille, oppilaat saattavat kuvitella, että samaa ilmiötä voidaan selittää useammalla tavalla ja sitä kuvaamaan voidaan käyttää useampaa eri mallia. Tällöin erilaisen tiedon valossa kehitetyt mallit nähdään saman ilmiön eriasteisina yleistyksinä ja ajatellaan, että yksinkertaisemman mallin ominaisuudet pätevät myös uudessa mallissa. (Drechsler & Van Driel 2008.)

Oppilailla on tapana käyttää mahdollisimman yksinkertaisia malleja, koska he eivät näe tarvetta monimutkaisempien mallien käytölle. Opetuksessa onkin pystyttävä todistamaan yksinkertaisten mallien rajoittuneisuus ja uuden, monimutkaisemman mallin hyödyllisyys. Tällöin oppilaat voivat ensiksi hyväksyä mallin hyödyllisenä ja toiseksi oppia ja ymmärtää sen. Jos vanhaa mallia ei jollain tavoin osoiteta puutteelliseksi, oppilailla ei ole mitään syytä hylätä sitä. (Coll & Treagust 2003.)

Mikäli Arrheniuksen malli on opetettu ennen Brønstedin mallia, kuten Suomessa tehdään, on oppilaiden vaikea siirtyä mallista toiseen. Arrheniuksen malli käsittelee happoja ja emäksiä makroskooppisella tasolla, kun taas Brønstedin malli käsittelee niitä abstraktimmalla, mikroskooppisella tasolla. Oppilaiden suurin vaikeus on oppia ymmärtämään happoja ja emäksiä ioneina. Makroskooppinen ja mikroskooppinen taso myös sekoitetaan helposti keskenään, antamalla partikkeleille aineen ominaisuuksia. Oppilaat usein uskovat, että Brønsted on vain Arrheniuksen laajennettu versio. (Furió-Más et al. 2007.) Mikäli oppilaat pitäytyvät Arrheniuksen mallissa, jäävät heidän happo-emässelityksensä usein kuvailevalle tasolle, kuten pH-arvoihin tai aineen ominaisuuksiin. (Banerjee 1991.) Oman ongelmansa tuo se, että opettajat usein olettavat oppilaiden osaavan Brønsted-mallin. Tällöin he eivät tule ajatelleeksi virhekäsityksiä, jotka Arrhenius- ja Brønsted-mallien hybridimalli voi aiheuttaa. (Drechsler & Van Driel 2008.)

Oppilaiden ymmärrys hapoista ja emäksistä perustuu opetukseen ja oppikirjoihin. Ymmärtäminen vaikeutuu, mikäli Arrheniuksen mallia ja Brønstedin mallia opetetaan rintarinnan eikä tehdä selväksi, kummasta mallista milloinkin on kysymys. Opetuksessa on tärkeää tuoda esille, milloin uuteen malliin siirrytään, kuinka se eroaa aiemmasta ja miksi uusi malli on parempi. (Drechsler & Schmidt 2005.)

Monissa oppikirjoissa ei tuoda esille Arrheniuksen ja Brønstedin mallien eroavaisuuksia, vaan käytetään eräänlaista hybridimallia. Näissä yhdistellään eri malleja ja si-vuutetaan se, että mallit eivät ole valmiina syntyneitä teorioita, vaan ne ovat kehittyneet hitaasti, useamman vaiheen ja monien kokeellisten tutkimusten kautta. (Justi & Gilbert 2000.) Teoriat tuodaankin oppikirjoissa esille usein lopullisina totuuksina, eikä kerrota, että ne ovat vain varovaisia malleja ilmiöstä. Oppikirjat myös usein tuovat esille tietoa ilman mainintaa olosuhteista. Esimerkiksi pH:n opetetaan olevan välillä 0-14 mainitsematta olosuhteita, joissa näin on sekä sitä, että on olemassa myös poikkeuksia. (Deme-routi et al. 2004.)

Carr (1984) tutki uusiseelantilaisia oppikirjoja ja havaitsi, että monet oppikirjat opettavat Arrheniuksen ja Brønstedin mallien hybridiä. Oppikirjoissa ei tuotu esille milloin käytettiin mitään mallia, eikä sitä miksi näin tehtiin. Myös eroavaisuudet teorioissa jäivät epäselviksi. Drechsler ja Schmidt (2005) tutkivat samaa asiaa Ruotsissa käytettävissä toisen asteen oppikirjoissa. He havaitsivat samoja ongelmia, joihin Carr oli jo puuttunut. Oppikirjoissa ei kerrottu mallien käyttötarkoituksesta happojen ja emästen karakterisoinnissa ja niiden ominaisuuksien ymmärtämisessä. Tutkimuksessa havaittiin, että eri malleja käytettiin rintarinnan kertomatta lukijalle, miksi näin tehtiin. Kirjoissa Brønstedin mallin edut Arrheniukseen nähden jäivät epäselviksi ja hapot ja

emäkset tuotiin esille aineina eikä partikkeleina. Tutkimus painottikin, että opettajien ja oppikirjojen tulisi tehdä selkeä ero eri happo-emästeorioiden välille. Myös Kala et al. (2013) tutkivat, kuinka oppikirjat käsittelevät happo-emäskemiaa. He huomasivat, että useissa taiwanilaisissa oppikirjoissa opetuksen pääpaino oli hapoilla.

2.3.3 Termistö

Tieteen kehityksen myötä vanhaan käsitteeseen lisätään uusia ideoita, jolloin termin tarkoitus muuttuu, vaikka termi itsessään pysyy samana. Kun sanasta tulee monimerkityksinen, käyttävät kemistit usein eri merkityksiä samanaikaisesti. Oppilaat yhdistävät termin ensiksi oppimaansa, joka on usein termin historiallinen merkitys. Opetuksessa ei aina käy ilmi tieteen asteittainen kehittyminen, jolloin oppilaat eivät ymmärrä, että termin sisältö on voinut ajansaatossa muuttua. (Schmidt 2000.)

Monimerkityksellisuuden lisäksi sanat ja ilmaisut, joilla on eri merkitys tieteessä ja arkikielessä vaikeuttavat oppimista. Sanat, jotka tuottavat vaikeuksia, vaihtelevat puhutusta kielestä riippuen. (Gabel 1999.) Yksi termi, joka aiheuttaa ongelmia myös suomen kielessä on vahva. Kun puhutaan vahvasta sidoksesta, tarkoitetaan sidosta, jonka hajottamiseen tarvitaan paljon energiaa. Toisaalta vahva happo dissosioituu täydellisesti. Ei olekaan ihme, että oppilaat usein kuvittelevat vahvan hapon sisältävän vahvoja sidoksia. (Jasien 2011.)

Myös termi neutraali on monimerkityksinen. Se tulee latinan sanasta *neuter*, joka tarkoittaa ”ei yhtä eikä toista”. Tämä pätee muun muassa sähkövarauksista puhuttaessa, jolloin neutraali tarkoittaa, että ei ole positiivista eikä negatiivista varausta. Neutraalista liuoksesta puhuttaessa ei voida seurata samaa mallia. Tämä johtaa helposti väärinkäsitykseen siitä, että neutraalissa liuoksessa ei olisi yhtään hydroksidi- eikä oksoniumioneita. Arrheniuksen kehittäessä omaa happo-emästeoriaansa ei tiedetty, että neutraloimisreaktion tuotteena voi olla myös ei-neutraali yhdiste. Brønstedin teoria kumosi idean happojen ja emästen taipumuksesta tuhota toisensa. Brønsted kirjoitti vuonna 1930 seuraavasti: ”Tämän seurauksena termit neutraloituminen ja neutraali tulisi hylätä loogisuuden nimissä.” Oppilaat voivat olettaa, että neutralointi johtaa tuotteeseen, jossa ei ole lainkaan hydroksidi- ja oksoniumioneita ja on näin olleen neutraali. Näin ei kuitenkaan ole, vaan neutralointireaktiosta voidaan sanoa, että ionit neutraloivat toisensa tietyissä määrin. Neutraali liuos on siis liuos, jossa on sekä oksonium- että hydroksidi-ioneja läsnä samassa, pienessä konsentraatiossa. (Schmidt 1991.)

2.4 Muu aiheesta tehty tutkimus

Virhekäsityksiä on tutkittu lähes jokaisesta peruskemian aihealueesta, kuten kemiallisesta tasapainosta (Banerjee 1991), sähkökemiasta (Sanger & Greenbowe 1999), kemiallisen muutoksen käsitteestä (Abraham et al. 1992; Abraham et al. 1994) ja kovalenttisesti sidoksesta (Barker & Millar 2000). Myös happojen ja emästen (Cokelez 2010; Cros et al. 1988; Demircioglu et al. 2005; Drechsler & Van Driel 2008; Drechsler & Van Driel 2009; Hand & Treagust 1991; Kala et al. 2013; Kousathana et al. 2005; McClary & Talanquer 2011; Nakhleh & Krajcik 1994; Schmidt 1995) sekä neutraloinnin käsityksistä (Schmidt 1991) on tehty useita tutkimuksia.

Suomessa virhekäsityksiä on tutkittu muun muassa atomirakenteesta (Asunta & Joki 2003), kemiallisesta tasapainosta (Inkala 2004) ja kemiallisista sidoksista (Gustafsson 2007). Ahonen (2005) tutki historiaan pohjautuvaa lähestymistapaa kemian opetuksessa käyttäen esimerkkinä happo-emästeorioita. Hän esittää, että tieto eri teorioiden kehittymisen historiasta edistää oppilaiden tietorakenteiden syntymistä ja estää virhekäsitysten

syntyä. Hukka ja Kyyrönen (2000) tutkivat suomalaisia oppikirjoja happo-emäskemian osalta ja havaitsivat, että peruskoulun oppikirjoissa asiat esitetään käyttäen naiivia empirismää. Lukion oppikirjoissa taas pääpaino on käsitteiden määritelmillä.

Ulkomaisia tutkimuksia happo-emäskäsityksistä on runsaasti ja näissä on tunnistettu useita virhekäsityksiä. Monissa tutkimuksissa (Cros et al. 1988; Demircioglu et al. 2005; Kala et al. 2013; Kousatha et al. 2005) havaittiin, että oppilailla on laajemmat käsitykset hapoista kuin emäksistä. Oppilailla on myös vaikeuksia termien dissosiaatio ja ionisaatio kanssa sekä pH:n käsitteen että Brønstedin happo-emäsmääritelmän kanssa. (Demircioglu et al. 2005.) Yleisin virhekäsitys on, että kaikki suolat ovat neutraaleja ja siten neutralointireaktion lopputuote on pH:ltaan neutraali. Tämä käsitys oli laajalti levinnyt myös Demircioglu (2005) tutkimien turkkilaisten opettajaopiskelijoiden joukossa. Virhekäsitys osoittaa, että hapon ja emäksen ajatellaan kuluttavan toisensa täysin neutraloinnissa. Tämä ajatus näyttää, että Arrheniuksen malli ymmärretään Brønstedin mallia paremmin.

Hand ja Treagust (1991) tutkivat australialaisten lukio-opiskelijoiden happo-emäskäsityksiä ja löysivät viisi päävirhekäsitystä.

- 1) Happo on jotain, mikä syö materiaa ja joka voi polttaa ihoa.
- 2) Aineen happamuuden voi testata vain syövyttämällä ainetta.
- 3) Neutralointi on hapon hajottamista tai muutosta haposta joksikin toiseksi aineeksi.
- 4) Emäs täydentää hapon.
- 5) Vahva happo syövyttää nopeammin kuin heikko happo.

Nakhleh ja Krajcik (1994) taas havaitsivat yhdysvaltalaisilla toisen asteen opiskelijoilla olevan seuraavia virhekäsityksiä:

- 1) pH on käänteisesti verrannollinen vahingoittavuuteen ja emäkset eivät ole vahingollisia.
- 2) Kuplat ja kupliminen ovat merkki kemiallisesta reaktiosta tai voimakkuudesta.
- 3) Hapoilla ja emäksillä on omat, tunnusomaiset värinsä ja väri-intensiteettinsä.
- 4) Molekyylit taistelevat keskenään ja yhdistyvät, fenoliftaleiini auttaa neutraloimisessa.
- 5) Hapot sulattavat metalleja, hapot ovat vahvoja ja emäkset eivät.
- 6) pH on yhdiste nimeltä fenoliftaleiini, kemiallinen reaktio sekä numero, joka liittyy intensiteettiin.

Kala et al. (2013) mainitsevat tutkimuksessaan turkkilaisten lukiolaisten virhekäsityksistä. Monet oppilaat uskoivat, että vahvoilla hapoilla on vahvoja sidoksia. Tämä osoittaa ongelman termistön kanssa. Toinen yleinen virhekäsitys oli, että konsentraatio ja hapon vahvuus tarkoittavat samaa asiaa. Griffiths (1994) tunnisti tutkimuksessaan kanadalaisten opiskelijoiden viisi happo-emästasapainoon liittyvää virhekäsitystä (katso Kousatha et al. 2005): 1) Vahvasta haposta vapautuu enemmän vetykaasua kuin heikosta haposta, sillä siinä on enemmän vetysidoksia. 2) Kaikki hapot ovat vahvoja ja voimakkaita. 3) Vahvoilla hapoilla on suurempi pH kuin heikoilla hapoilla. 4) Neutralointireaktiosta seuraa aina neutraali liuos. 5) Koska suola ei sisällä vetyä eikä hydroksyyli-ryhmää, sen vesiliuos ei voi sisältää oksonium- tai hydroksidi-ioneita. Edellisten lisäksi Garnett et al. (1995) tunnistivat australialaisten opiskelijoiden kaksi muuta virhekäsitystä: heikko happo ei ”toimi” yhtä hyvin kuin vahva happo ja pH on vain happamuuden mitta, ei emäksisyyden.

Cros (1988) tutki ranskalaisten yliopisto-opiskelijoiden käsityksiä hapoista ja emäksistä. Hän havaitsi, että happoja ja emäksiä määriteltäessä monet turvautuivat Arrheniuksen määritelmään. Cros mainitsee, että Arrhenius on sittemmin jäänyt pois Ranskan toisen asteen opetussuunnitelmasta. Hän toteaa tämän olevan hyvä asia, sillä opiskelijoiden on vaikea siirtyä Arrheniuksen mallista yleisempään Brønstedin malliin. Arrheniuksen mallin poisjäänti Ranskan opetussuunnitelmasta tulee hyvin ilmi Cokelezin tutkimuksessa (2010), jossa hän vertaili ranskalaisten ja turkkilaisten 11. luokan oppilaiden käsityksiä hapoista ja emäksistä. Turkissa opetetaan Suomen tapaan eri luokka-asteilla eri malleja, ensin Arrheniuksen malli, sitten Brønstedin ja lopulta Lewisin malli, kun taas Ranskassa opetetaan nykyään vain Brønstedin mallia. Tutkimuksessa huomattiin, että turkkilaiset oppilaat pitäytyivät Arrheniuksen mallissa uskoen, että happo-emäsreaktion tuloksena on suolaa ja vettä. Ranskalaisten näkemys taas oli Brønstedin mallin mukainen, jolloin reaktiossa tapahtuu protonin siirto. Opetetuista malleista huolimatta molempien maiden oppilaille neutralointireaktio tarkoitti kuitenkin neutraalia lopputuotetta. (Cokelez 2010.)

Hawkes (1992) esittää, että perinteinen opetus, jossa Arrhenius-malli esitellään ennen Brønsted-mallia, hämmentää ja johtaa oppilaita harhaan. Hänen mielestään Arrheniuksen mallin tulisi olla vain historiallinen lisätieto ja Brønstedin malli tulisi opettaa ensin, sillä se on yksinkertaisempi sisältäessään ainoastaan protonin siirron. Näin oppilas säästyisi virhekäsityksiltä ja ongelmilta, kun hänen ei tarvitse pyristellä päästäkseen irti Arrheniuksen opista. Ihmisluonnolle on ominaista, että hyväksymme ensin kuulemamme ja käsityksen muutos vaatii työtä. Hawkes myös esittää, että ilman Arrheniuksen mallia niin konjugaattiparien kuin happojen ja emästen ioniluonteiden opiskelu olisi helpompaa. (Hawkes 1992.)

Abraham et al. (1994) tutkivat oppikirjoja ja huomasivat, että monia kemiallisia käsitteitä opetetaan eri luokka-asteilla vaihtelevalla hienostuneisuudella. Vaikka kirjat käyttävätkin atomi- ja molekyylimalleja selityksissään, oppilaat itse harvoin käyttävät näitä malleja selittäessään kemiallisia ilmiöitä. Oppilaita tulisikin tukea käyttämään näitä malleja auttamalla heitä yhdistämään kokeellisen työskentelyn makromailman ilmiöt abstrakteihin mikromailman atomi- ja molekyylimalleihin. (Abraham et al. 1994.)

Schmidt (1995) havaitsi tutkimuksessaan, että oppilaat ajattelevat happoja enemmänkin aineina kuin partikkeleina, mikä osoittaa Arrheniuksen teorian omaksumisen. Happo-emäsparin käsitteen oppilaat rajoittavat Arrheniuksen mallin mukaisiin neutralointireaktioihin, jolloin lopputuote on aina neutraali. Kun tutkimuksessa pyydettiin oppilaita etsimään happo-emäsreaktiosta konjugaattipari, he etsivät varauksiltaan yhtä suuret, mutta vastakkaismerkkiset parit. Schmidt havaitsikin, että oppikirjoissa puhutaan vain konjugaattipareista eikä mainita, että yhtälössä on myös muita happo-emäspareja, jotka kuitenkin eivät ole konjugaattipareja. Tällöin oppilas ei voi tietää, että hänen löytämänsä happo-emäspari ei olekaan kysytty konjugaattipari. Schmidt myös huomasi, että joillekin oppilaille protonin ja elektronin käsitteet sekoittuivat. (Schmidt 1995.)

McClary ja Talanquer (2011) tutkivat amerikkalaisopiskelijoiden ajatusmalleja hapoista ja happojen vahvuuksista. He havaitsivat, että opiskelijoiden ajatusmallit olivat usein hybridimalleja, jotka yhdistelivät oletuksia useammasta tieteellisestä mallista ja joihin sekoittui intuitiivisia uskomuksia kemiallisten aineiden ominaisuuksista. Opiskelijoiden ajatusmallien huomattiin olevan dynaamisia ja kontekstin vaikuttavan vahvasti ajatusmallin valintaan. Tällöin kysymyksen asettelu tai tietyn ongelmatyyppin esiintyminen kysymyksessä sai opiskelijan vaihtamaan ajatusmalliaan. (McClary & Talanquer 2011.)

Drechsler ja Van Driel (2008) tutkivat ruotsalaisten opettajien käsityksiä oppilaidensa virhekäsityksistä. Opettajille luettiin otteita yleisistä virhekäsityksistä ja kaikki opet-

tajat tunnistivat, että heidän oppilaillaan oli ollut näitä käsityksiä aloittaessaan toisen asteen koulutuksen. Opettajat kuitenkin olettivat, että näihin virhekäsityksiin olisi jo puututtu alemmilla luokka-asteilla. Opettajat, jotka itse opettivat vain yhtä mallia happo-emästeoriasta, eivät osanneet ajatella, että oppilailla voisi olla hybridimalleja aieman tiedon perusteella. (Drechsler & Van Driel 2008.)

Toisessa tutkimuksessa Drechsler ja Van Driel (2009) tutkivat, kuinka ruotsalaiset toisen asteen opettajat opettavat happoja ja emäksiä. Tutkimuksessa havaittiin, että opettajat suosivat Brønstedin mallia, mutta heidän tietämyksensä sen eroista Arrheniuksen malliin oli rajallinen. Opettajat uskoivat Brønstedin mallin olevan oppilaille selkeä. He myös sanoivat seuraavansa oppikirjaa tarkasti, jotta oppilaat eivät hämmentyisi. Koska oppikirjat eivät tee selkeää eroa Arrheniuksen ja Brønstedin mallien välille, eivät opettajatkaan tehneet näin. Ne opettajat, joilla on hyvä ymmärrys mallien välisistä eroista, eivät tuo tätä esille opetuksessaan, sillä he pelkäävät sen hämmentävän oppilaita. Oppilailla on kuitenkin alemmilta asteilta virhekäsityksiä, jotka korjaantuvat vain tekemällä mallien erot selväksi. Drechsler ja Van Driel ehdottavatkin, että opettajankoulutuksessa olisi painotettava enemmän historiallista näkökulmaa ja mallien kehittymisen esille tuontia. (Drechsler & Van Driel 2009.)

Tutkimuksissa on mainittu vain vähän konkreettisia neuvoja virhekäsitysten eliminoimiseen. Kind (2004) ehdottaa, että hapot ja emäket on esiteltävä yhtä aikaa, jotta oppilaat eivät kallistu opiskelussa vain happojen puolelle. Toinen ehdotus on näyttää demonstraatiolla erot vahvan ja heikon, sekä laimennetun että laimentamattoman hapon ja emäksen välillä. Tällöin virhekäsitys, jossa sekoitetaan vahvat hapot ja emäket laimentamattomien happojen ja emästen kanssa voisi korjautua. (Kind 2004.)

3 Tutkimusmetodologia ja -aineisto

Tässä luvussa tutustutaan työssä käytettyyn tutkimusmenetelmään, fenomenografiaan, sekä taustatutkimusaineistoon. Lopuksi perehdytään kyselylomaketutkimukseen aineistonkeruutapana sekä esitellään tutkimuksessa käytetty kyselylomake.

3.1 Tutkimusmenetelmä

3.1.1 Fenomenografia

Fenomenografia on laadullisen tutkimuksen tutkimussuuntaus, joka kehitettiin Ruotsissa 1970-luvun lopulla Ference Martonin tutkimusryhmässä. Se on saanut jalansijaa kasvatustieteellisen tutkimuksen parissa ennen kaikkea Pohjoismaissa sekä Englannissa. Fenomenografia tutkii ihmisten erilaisia käsityksiä tietystä ilmiöstä. Se käyttää toisen asteen näkökulmaa, jossa itse ilmiön sijasta tutkitaan niitä erilaisia tapoja, joilla ihmiset kokevat, käsittävät ja käsitteellistävät ilmiötä. Tutkimukselle on irrelevanttia, ovatko käsitykset linjassa nykyisen tieteellisen tiedon kanssa vai eivät. Tarkoituksena on yksinkertaisesti havainnollistaa käsitysten laajuutta. Marton esitti, että erilaisia käsityksiä on rajallinen määrä ja fenomenografisen tutkimuksen tavoitteena on löytää ja kuvata tätä käsitysten erilaisuutta. Perimmäisenä tavoitteena on löytää niin kutsuttu käsiteavaruus, joka kattaa kaikki eri käsitykset ilmiöstä. (Orgill 2007; Järvinen 1996; Huusko & Paloniemi 2006.)

Fenomenografian tutkimuskohteena ovat ne laadullisesti erilaiset tavat, joilla ilmiö koetaan ja käsitteellistetään. Näin se pyrkii kokemusten kuvaamiseen, analyysiin ja ymmärtämiseen. Fenomenografia myös etsii löydettyjen käsitystapojen välisiä loogisia suhteita. Tutkimuksessa mielenkiinto kohdistuu siihen, minkälaisia käsitykset ovat sisällöltään ja miten ne ovat suhteessa toisiinsa, eikä siinä niinkään olla kiinnostuneita käsitysten yleisyydestä. Vaikka taustalla olevat syyt käsitysten eroavaisuuksiin eivät ole varsinaisen tutkimuksen kohteena, ovat käsitysten ilmenemisyhteydet tärkeitä niiden välisten erojen ymmärtämiseksi. (Orgill 2007; Järvinen 1996; Huusko & Paloniemi 2006.)

Fenomenografinen tutkimusote ei siis tutki ilmiötä itsessään, vaan sitä, millaisia erilaisia käsityksiä ihmisillä on tietystä ilmiöstä. Esimerkiksi Lybeck (1988) tutki fenomenografisesti oppilaiden käsityksiä moolin käsitteestä. Tutkimusote soveltuukin hyvin oppimiskäsitysten tutkimiseen. Oppilailla on ilmiöstä usein käsityksiä, jotka eivät ole yhteensopivia nykyisen tieteellisen tietämyksen kanssa. Marton ehdottaa, että huolellinen selonteko tavoista, joilla ilmiötä voi ajatella, voi auttaa selvittämään edellytyksiä ymmärryksen parantamiseksi. Näin ollen fenomenografinen tutkimus voi auttaa opettajia kehittämään parempia opetustapoja. Kun opettaja on tietoinen niistä eri tavoista, joilla ilmiö voidaan ymmärtää, voi hän paremmin auttaa oppilaita muuttamaan käsityksiään lähemmäksi tieteellisesti hyväksyttyä käsitystä. (Orgill 2007.)

3.1.2 Fenomenografinen tutkimus

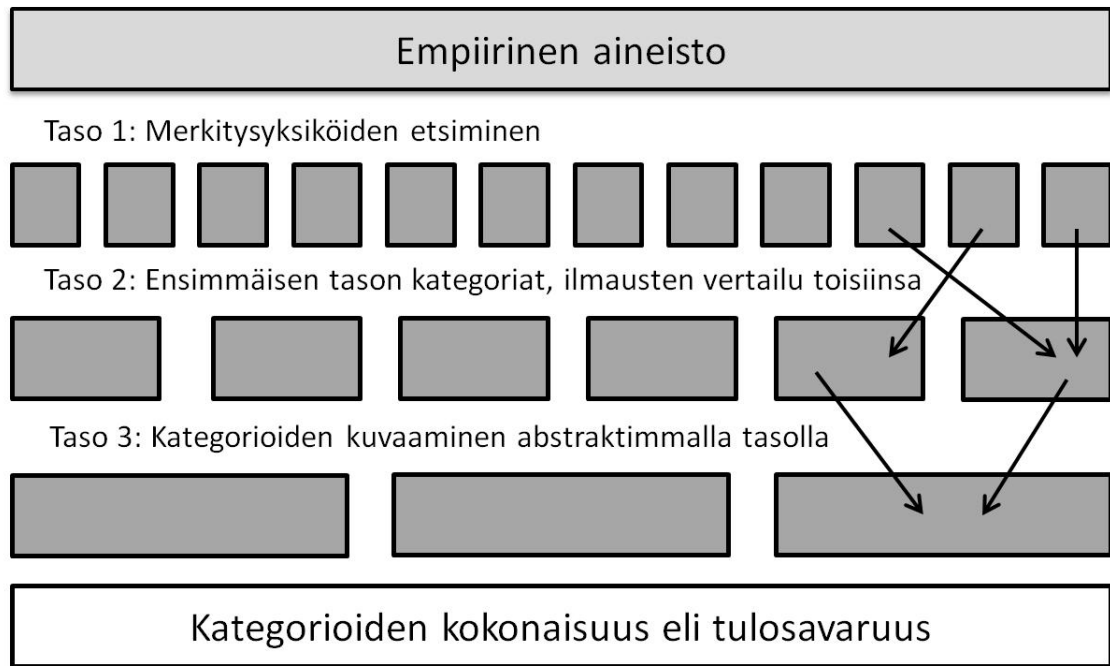
Fenomenografisessa tutkimuksessa hyödynnetään erilaisia kirjallisia aineistoja, kuten litteroituja haastatteluja tai kyselyitä. Aineiston keruussa keskeisintä on kysymyksenasettelun avoimuus, jolloin erilaiset käsitykset tulevat ilmi. Tutkimusprosessi on

suurilta osin samanlainen kuin muissa laadullisen tutkimuksen tutkimusotteissa, mutta fenomenografia eroaa vastausten käsittelyn osalta. Fenomenografinen tutkimus saa ominaispiirteensä aineistosta saatujen vastausten kategorioiksi luokittelusta. Aineiston analyysissä tämä tarkoittaa tulkinnallisten ajatuskokonaisuuksien jäljittämistä, jotta aineiston pohjalta voidaan tehdä kategorialuokituksia ja edelleen laajempia yläkategorioita. Luotujen kategorioiden tulee kattaa koko vastausten variaatio. (Järvinen 1996; Huusko & Paloniemi 2006.)

Fenomenografisen tutkimuksen kulku noudattelee samoja polkuja muun laadullisen tutkimuksen kanssa. Tutkimus alkaa tutkimuskohteen valinnalla, jolloin tutkija kiinnittää huomiota asiaan, josta vaikuttaa esiintyvän erilaisia käsityksiä. Seuraavana on vuorossa teoreettinen perehtyminen aiheeseen, millä luodaan teoreettinen pohja ilmiölle, johon liittyviä käsityksiä tutkitaan. Tämän jälkeen kootaan aineisto, jota analysoidaan. Fenomenografisen tutkimuksen lähestymistapa on aineistolähtöinen, jolloin tulkinta muodostuu vuorovaikutuksesta aineiston kanssa. Analyysin ensimmäinen vaihe pitää sisällään aineiston läpikäymisen ja merkitysyksiköiden etsimisen vastauksista. Tällöin tulkinta kohdistuu vastauksen ajatukselliseen kokonaisuuteen. Tätä ajatuksellista kokonaisuutta kutsutaan merkitysyksiköksi. Yhdessä vastauksessa voi olla yksi tai useampi merkitysyksikkö, joten merkitysyksiköitä voi olla useampia kuin vastaajia. Analyysin ytimenä onkin variaatioiden tunnistaminen, jossa pyritään tunnistamaan samanlaisia ja erilaisia ilmauksia aineistosta. Vastauksiin ei keskitytä yksittäisinä tapauksina, vaan niistä muodostetaan kokonaisuuksia niiden merkitysten mukaan. (Huusko & Paloniemi 2006.)

Analyysin toisessa vaiheessa löydettyjä merkitysyksiköitä lajitellaan ja ryhmitellään niiden erojen ja yhtäläisyyksien perusteella alustavasti abstraktimmiksi merkitysluokiksi eli kategorioiksi, jotka kuvaavat eri tapoja käsittää ilmiö. Merkitysyksiköt on luokiteltu niiden sisällön perusteella, joten yhden vastaajan antamat merkitysyksiköt on voitu luokitella joko samaan tai eri kategoriaan. Tässä työssä ei ole keskitytty yksittäisten vastaajien ymmärrykseen. Näin ollen työssä ei ole otettu kantaa siihen, ovatko yksittäisen vastaajan vastauksesta löydetty merkitysyksiköt samassa kategoriassa, vai onko hänen vastauksessaan epävarmuutta, joka näkyy merkitysyksiköiden sijoittumisena eri kategorioihin. Aineisto toimii kategorisoinnin pohjana valmiin luokittelurungon tai teorian sijaan, vaikka teoria onkin erottamaton osa luokittelua. Analyysissä pyritään löytämään vastauksista sellaisia rakenteellisia eroja, jotka selventävät sitä, missä suhteessa käsitykset ovat tutkittavaan ilmiöön. On mahdollista, että yksi vastaus sopii useampaan kategoriaan merkitysyksiköidensä takia. Kategorialuokitukset syntyvät niistä ilmaisuista, joilla ihmiset kuvaavat havaintojaan, kokemuksiaan ja käsitteitään. Kategoriat muotoutuvat käsitysten erityispiirteiden ympärille ja ne liitetään aineistoon suorien lainausten avulla. Alustavat kategoriat mielessä aineisto käydään uudestaan lävitse, jotta voidaan määrittää, kuvaavatko kategoriat aineistoa riittävästi. Kategorioita muokataan, lisätään ja poistetaan, kunnes kategoriajärjestelmä on yhteensopiva aineiston kanssa. (Huusko & Paloniemi 2006; Orgill 2007.)

Analyysi etenee kategorioiden kuvaamiseen abstraktimmalla tasolla ja kategorioiden välisten suhteiden tarkentamiseen. Tässä vaiheessa on tärkeää määritellä kategorioiden rajat merkitysyksikköjä vertailemalla. Oleellista on löytää kriteerit jokaiselle kategorialle ja selkeät erot niiden välille, jotta kategoriat eivät mene limittäin toistensa kanssa. Kategoriajärjestelmän tulee kattaa koko aineistosta esiin tulevien käsitysten variaatio. Sen muodostamisessa ei erityisemmin kiinnitetä huomiota kuhunkin kategoriaan tulevien ilmaisujen lukumäärään; kiinnostavia ovat käsitysten laadulliset erot, ei niiden määrällinen painottuminen. (Huusko & Paloniemi 2006.) Kuvassa 3.1 on havainnollistettu kategoriajärjestelmän luomisprosessi Uljensia (1989) mukaillen.



Kuva 3.1 *Kategoriajärjestelmän luomisen vaiheet (Huusko & Paloniemi 2006)*

Muodostetuista kategorioista voidaan rakentaa joko horisontaalinen, vertikaalinen tai hierarkkinen kategoriajärjestelmä. Huusko ja Paloniemi (2006) luonnehtivat näiden ominaispiirteitä seuraavasti:

- Horisontaalisessa järjestelmässä kategoriat ovat keskenään samanarvoisia ja tasavertaisia, sillä erot kategorioiden välillä ovat sisällöllisiä.
- Vertikaalinen järjestelmä voidaan muodostaa kategorioiden välisen tärkeyden, yleisyyden tai ajan perusteella.
- Hierarkkisessa järjestelmässä kategoriat ovat toisiinsa nähden eri tasoisia esimerkiksi teoreettisuuden tai laaja-alaisuuden perusteella. Tällöin toiset käsitteet voivat olla rakenteeltaan tai sisällöltään muita kehittyneempiä.

Tässä tutkimuksessa ensimmäisen tason kategorioita on luokiteltu laajemmiksi käsitteikategorioiksi. Kategorioita ja käsitteikategorioita taas on luokiteltu edelleen kuvauskategorioiksi. Kuvauskategorioiden kokonaisuutta kutsutaan tulosavaruudeksi tai tulosalueeksi. (Huusko & Paloniemi 2006.) Mikäli tutkimuksessa käsitellään useampaa aihetta tai useampaa puolta ilmiöstä, on kaikille niistä kehitettävä oma tulosavaruutensa. Kaikki kategoriat käsittävää järjestelmää kutsutaan kuvauskategoriajärjestelmäksi. Tässä tutkimuksessa kyselylomakkeen jokaista kysymystä on käsitelty omana yksikkönään, joille on pyritty luomaan omat kuvauskategoriajärjestelmänsä. Toiselle kysymykselle tätä ei pystytty tekemään vastausten luonteesta johtuen. Viidennen ja kuudennen kysymyksen käsittelyt osoittautuivat ongelmallisiksi fenomenografian kannalta, sillä tutkimusote ei varsinaisesti ole kiinnostunut käsitysten oikeellisuudesta. Näiden kysymysten kohdalla laajempi luokittelu onnistuttiin kuitenkin tekemään vain tutkimalla käsitysten oikeellisuutta. Vaikka kuvauskategorioiden hierarkkisuus on näissä kysymyksissä saatu aikaan oikeellisuuden perusteella, näkyy kategorioissa fenomenografisen tutkimuksen etsimä käsitysten laajuus.

Kuvauskategoriajärjestelmää voidaan pitää riittävänä, mikäli jokainen yksittäinen vastaus voidaan sijoittaa sen sisälle. Ainoat pääsäännöt kategorioiden luomiselle ovat niiden sisäinen konsistenssi ja niiden vähäinen lukumäärä. Tavoitteena onkin selittää

kaikki aineiston variaatiot mahdollisimman vähillä kategorioilla. Käsitysten väliset suhteet määritellään tyypillisesti sanallisen erittelyn lisäksi myös graafisessa muodossa. Oleellista fenomenografisen tutkimuksen kannalta on erilaisten käsitysten huomioiminen ja edustavuus sekä kategorioiden erillisuus. Tutkimuksen päätulokseksi muodostuvat kategoriat ja niistä muodostettu kategoriajärjestelmä. (Järvinen 1996; Huusko & Paloniemi 2006; Orgill 2007.)

3.1.3 Fenomenografian kritiikki

Fenomenografia on saanut osakseen myös kritiikkiä. Martonin oletusta käsitysten rajallisuudesta määrästä on kritisoitu, sillä viime kädessä kategorioiden kokonaisuus on tutkijan päätettävissä. Voidaan esimerkiksi miettiä, ovatko käsitykset samoja ja pysyviä myös eri historiallisina ajankohtina. Martonin mukaan rajallisuutta ei kuitenkaan tule ymmärtää siten, että kategorioiden kokonaisuus olisi ajasta ja paikasta riippumatonta, vaan sillä viitataan tiettyssä yhteisössä tai kulttuurissa, tietyssä ajankohtana voimassaolevaan rajalliseen määrään tapoja käsittää jokin ilmiö. Tämän käsitysten pysyvyyden kritiikin lisäksi Gröhn (1993, katso Metsämuuronen 2009, s. 241) on nostanut esiin kolme muuta fenomenografisen tutkimuksen kehittämisaluetta. Hän kritisoi käsitysten kontekstisidonnaisuutta, eli sitä, kenen käsityksiä on tutkittu, sekä ongelmia tulosten yleistettävyydessä. Hän myös nostaa esille sen, että ihmisten käsitykset ovat aidosti erilaisia, jolloin herää kysymys, voiko niitä oikeasti vertailla ja arvottaa. Fenomenografisen tutkimuksen luotettavuuden arvioinnissa on huomioitava, kuinka tutkija on raportoinut tutkimuksensa eri vaiheita. Tutkimusprosessin seikkaperäinen kuvaus ja aineistolainaukset lisäävät tulkinnan läpinäkyvyyttä ja samalla lukijan mahdollisuutta arvioida tutkijan huomioita. Tutkimuksen luotettavuutta lisää myös teoria-empiria-suhteen pohtiminen. (Huusko & Paloniemi 2006.)

3.2 Tutkimusaineisto

3.2.1 Taustatutkimusaineisto ja sen käsittely

Tutkimuksessa käytettyä varsinaista kyselylomaketta kehiteltiin tutkijan käyttöön saaman taustatutkimusaineiston pohjalta. Tämä taustatutkimusaineisto on kerätty etelä- ja itäsuomalaisissa korkeakouluissa 1990-luvun lopussa ja 2000-luvun alussa. Kaksi aineistokokonaisuutta, aineisto₁ ja aineisto₂, koostuu koevastauksista ja yksi, aineisto₃, on kemian peruskurssien alussa tehty lähtötasotesti. (Hukka s.a.) Aineistot luettiin lävitse ja niistä etsittiin merkitysyksiköitä, joita luokiteltiin, jotta vastauksia voitiin analysoida. Vain yhden aineistokokonaisuuden, aineisto₂, vastauksia voidaan suoraan verrata tämän tutkimuksen kyselyn vastauksien kanssa. Muiden aineistokokonaisuuksien vastaajat eivät sovi varsinaisen tutkimuksen kohderyhmään, sillä näissä aineistokokonaisuuksissa vastaajat olivat jo käyneet yliopisto-opintoja kemiassa. Varsinaisessa tutkimuksessa keskityttiin niihin opiskelijoihin, jotka olivat käyneet vain lukion kemian opintoja.

Ensimmäisessä aineistokokonaisuudessa, aineisto₁, käsiteltiin vahvoja ja heikkoja happoja aineiston koon ollessa 146 kappaletta. Kysymyksessä pyydettiin selittämään käsitteet vahva happo ja heikko happo. Analyysissä vastauksista etsittiin merkitysyksiköitä, joita saattoi yhdessä vastauksessa olla useampia. Merkitysyksiköt luokiteltiin ja saadut tulokset koottiin taulukkoon 3.1, jossa näkyy yleisimmät mainitut merkitysluokat, näiden mainintojen lukumäärä sekä se, kuinka suuri osuus kaikista vastaajista oli maininnut kyseisen merkitysluokan. Luokkaan ”jotain muuta” luokiteltiin ne vastaukset, joista löydettyjä merkitysyksiköitä esiintyi aineistossa alle kuusi kertaa. Tämä valittiin

rajaksi siksi, että sen alittavat määrät ovat hyvin pieniä prosenttiosuuksia koko aineistosta. Tällä rajauksella saatiin kuitenkin näkyviin virhekäsitys konsentraatioerosta erottavana tekijänä vahvan ja heikon hapon välillä. Tämä virhekäsitys toistuu myöhemmin tässä työssä varsinaisen kyselyn tulosten analysoimisessa. Taulukon 3.1 prosenttiosuudet ovat yhteenlaskettuna yli 100 prosenttia, sillä osassa vastauksia mainittiin useampi merkitysyksikkö.

Vastaajista 39 % ei vastannut ollenkaan kysymykseen vahvojen happojen käsitteen selityksestä tai vastasi tavalla, joka luokiteltiin luokkaan ”jotain muuta”. Vastaava prosenttiosuus heikon hapon käsitteen selitykseen oli 44 %. Vastaajista 21 % osasi sanoa, että vahva happo protolysoituu täydellisesti. Näin vastanneista 84 % osasi vielä lisätä, että heikko happo puolestaan ei protolysoitu täydellisesti. Kaikista vastaajista 14 % mainitsi vahvan hapon luovuttavan protonin ja heistä noin kolmasosa, 65 %, mainitsi lisäksi, että heikko happo ei luovuta protonia yhtä ”herkästi” kuin vahva happo. Reakti-
on etenemistä pidettiin myös käsitteen selittäjänä: 11 % vastaajista mainitsi heikkojen happojen reaktion menevän tasapainoon ja 4 % mainitsi vahvojen happojen reaktion etenevän loppuun asti. Vastaajista 4 % oli sitä mieltä, että vahvojen happojen konsentraatio liuoksessa on suuri ja heikkojen happojen konsentraatio pieni.

Taulukko 3.1 Aineisto_{1:n} eli vahvan ja heikon hapon käsitteiden selityksistä löydetty yleisimmät merkitysyksiköt, niiden esiintymismäärät ja prosenttiosuudet kaikista vastaajista.

Selitä käsite vahva happo	Mainintoja (kpl)	Osuus kaikista vastaajista (n=146) (%)
protolysoituu täydellisesti	31	21
luovuttaa protonin	20	14
happo reagoi täydellisesti	6	4
hapon konsentraatio liuoksessa on suuri	6	4
pH-arvo on pieni	21	14
selviää happovakiosta	6	4
happovakio on suuri	12	8
happovakio $K_a > 1$	27	18
jotain muuta	27	18
tyhjä	30	21

Selitä käsite heikko happo	Mainintoja (kpl)	Osuus kaikista vastaajista (n=146) (%)
protolysoituu osittain	26	18
ei luovuta protonia yhtä herkästi kuin vahva happo	13	9
reaktiossa muodostuu tasapaino	16	11
hapon konsentraatio liuoksessa on pieni	6	4
pH-arvo on lähellä neutraalia	20	14
selviää happovakiosta	7	5
happovakio on pieni	11	8
happovakio $K_a < 1$	18	12
jotain muuta	34	23
tyhjä	31	21

pH-arvot ja happovakiot olivat suosittuja selityksiä vastaajien keskuudessa. Vastaajista 45 kappaletta mainitsi happovakion selittäessään vahvaa happoa ja 36 kappaletta mainitsi sen heikkojen happojen selityksessä. Vastauksissa oli hyvin vähäistä päällekkäisyyttä pH-arvojen ja happovakioiden osalta. Vain kaksi vastaajaa oli maininnut vahvan hapon selityksessään sekä pH-arvon että happovakion. Heikon hapon selityksissä molemmat merkitysyksiköt maininneita oli vain kolme kappaletta. Näin ollen vahvan hapon selityksissä 64 vastaajaa oli maininnut joko pH-arvon, happovakion tai molemmat. Tämä on 44 % kaikista vastaajista. Heikkojen happojen tapauksessa vastaava luku on 53 vastaajaa, joka on 36 % vastaajista. Myös niistä vastaajista, jotka olivat maininneet vahvojen happojen täydellisen protolysoitumisen, oli 45 % maininnut vastauksessaan myös joko pH-arvon tai happovakion. Tämä havainto sai kysymään, ymmärretäänkö vahvojen ja heikkojen happojen eroa lainkaan mikrotasolla, vai nähdäänkö se vain ominaisuutena, joka voidaan mitata tai löytää taulukoista.

Kaksi muuta aineistokokonaisuutta käsittelevät neutraloitumisreaktiota. Aineisto₂:n koko oli 128 ja aineisto₃:n koko 40 kappaletta. Aineisto₂ on koekysymys, jossa pyydettiin selittämään neutraloitumisreaktio. Vastaukset analysoitiin etsimällä niistä merkitysluokkia ja luokittelemalla niitä. Aineisto₂:n tulokset on koottu taulukkoon 3.2, jossa näkyy yleisimmät merkitysluokat, niiden mainintojen lukumäärä sekä prosenttiosuus vastaajista, jotka mainitsivat vastauksessaan kyseisen merkitysluokan. Samalla tavalla kuin vahvan hapon tapauksessa, myös tässä luokiteltiin luokkaan ”jotain muuta” ne vastaukset, joissa mainitut merkitysluokat esiintyivät koko aineistossa alle kuusi kertaa. Yhteenlasketut prosenttiosuudet ylittävät 100 %, sillä yksi vastaaja on voinut mainita vastauksessaan useamman merkitysluokan.

Taulukko 3.2 Aineisto₂:n eli neutraloitumisreaktion käsitteen selityksistä löydetty yleisimmät merkitysyksiköt, niiden esiintymismäärät ja prosenttiosuudet kaikista vastaajista.

Mitä tarkoittaa neutraloitumisreaktio?	Mainintoja (kpl)	Osuus kaikista vastaajista (n = 128) (%)
Happo ja emäs neutraloituvat neutraaliksi lopputuotteeksi, jonka pH on 7	65	51
$\text{OH}^- + \text{H}_3\text{O}^+ \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$	35	27
happo + emäs → suola + vesi	31	24
Neutraloitumisessa $[\text{OH}^-] = [\text{H}_3\text{O}^+]$	22	17
Yhdistetty titraukseen ja indikaattorin värimuutokseen	10	8
Protoninsiirtoreaktio	8	6
Happamuus/emäksisyys/happamat tai emäksiset ominaisuudet katoavat/vähenevät/heikkenevät	8	6
Jotain muuta	9	7
Ei vastausta	7	5

Vastaajista 12 % jätti vastaamatta kysymykseen tai vastasi tavalla, joka luokiteltiin luokkaan ”jotain muuta”. Selkeästi suosituin selitys neutraloitumisreaktiolle oli hapon ja emäksen neutraloituminen neutraaliksi lopputuotteeksi, minkä 51 % vastaajista mainitsi vastauksessaan. Näin vastanneista 39 % mainitsi vain tämän merkitysluokan, 61 % mainitsi myös jonkun muun merkitysluokan vastauksensa tueksi. Brønstedin ja Arrheniuksen määritelmät neutraloitumisreaktiolle olivat lähes yhtä suosittuja; 27 % vastaajista

vastasi Brønstedin määritelmän mukaisesti ja 24 % vastasi Arrheniuksen määritelmän mukaisesti. Kuusi vastaajaa mainitsi molemmat kaavat. Heistä kukaan ei kuitenkaan maininnut, että kaavat olivat eri teorioiden mukaisia. Kaikista vastaajista 17 % toi esille hydroksidi- ja oksoniumionien yhtä suuren konsentraation. Osa mainitsi sen edellytyksenä neutraloinnin tapahtumiselle ja osa neutraloitumisen lopputilana. Titraukseen ja indikaattoreihin neutraloitumisen yhdisti 8 % vastaajista ja 6 % mainitsi neutraloitumisreaktion olevan protoninsiirtoreaktio. Vastaajista 6 % käytti ilmaisua, jossa happamuus tai emäksisyys tai vaihtoehtoisesti happamat tai emäksiset ominaisuudet katosivat, vähenivät tai heikkenivät.

Aineisto₃ on pohjatasotesti, joka on suoritettu kemian peruskurssien alussa. Aineistosta etsittiin merkitysyksiköitä, joita luokiteltiin aineiston analysoimiseksi. Merkitysyksiköt on koottu taulukkoon 3.3, jossa näkyy vastauksissa annetut merkitysyksiköt, niiden mainintojen lukumäärä sekä prosenttiosuus niistä vastaajista, jotka mainitsivat kyseisen merkitysyksikön.

Taulukko 3.3 Aineisto₃:n eli neutraloitumisreaktion vastauksista löydetty merkitysyksiköt, niiden esiintymismäärät ja prosenttiosuudet kaikista vastaajista.

Kirjoita neutraloitumisreaktio	Mainintoja (kpl)	Osuus kaikista vastaajista (n = 40) (%)
Brønstedin mukainen vastaus	13	32,5
Arrheniuksen mukainen vastaus	7	17,5
Ei vastausta	20	50,0

Testissä kysyttiin neutraloitumisreaktion kaavaa, johon puolet vastaajista oli jättänyt kokonaan vastaamatta. Lopuista vastauksista 32,5 % oli Brønstedin teorian mukaisia ja 17,5 % Arrheniuksen teorian mukaisia. Vastauksista osa oli ilmaistu kaavoin ja osa sanallisesti. Vastausten jakautuminen Brønstedin ja Arrheniuksen teorioiden välillä sai kysymään, ymmärtävätkö opiskelijat, että on olemassa eri teorioiden mukaisia kaavoja. Havainto herätti myös mielenkiinnon siihen, vaihtavatko opiskelijat ajatusmallinsa neutraloitumisreaktiosta Brønstedin malliin kuullessaan siitä lukion jatkokurssilla vai pitäytyvätkö he Arrheniuksen mallissa.

3.2.2 Kyselylomaketutkimus

Fenomenografista tutkimusta voi tehdä sekä kirjallisesta materiaalista että haastatteluisista. Avoin tai puolistrukturoitu haastattelu on paras vaihtoehto vastausten kattavuuden kannalta, mutta tähän tutkimukseen haastattelut eivät ajallisten resurssien takia sopineet. Jotta haastatteluista saadaan tarpeeksi kattavia, on haastateltavat valittava huolellisesti. (Valli 2010.) Tämä on kuitenkin aikaa vievää ja tutkimuksen kohderyhmän kannalta oli tärkeää, että aineisto saadaan kerättyä ennen varsinaisen yliopisto-opetuksen alkua. Tämän takia tutkimuksen aineistonkeruun menetelmäksi valikoitui kyselylomake. Sen avulla saatiin kerättyä samanaikaisesti laaja kattaus erilaisia käsityksiä suurelta joukolta kohderyhmään kuuluvia opiskelijoita.

Kyselylomakkeen kysymykset voivat olla monen tyyppisiä. Aineisto voidaan kerätä muun muassa monivalintana valmiista vastausvaihtoehdoista, käyttämällä intensiivisyyttä mittaavia järjestysasteikkoisia mittareita tai avoimia kysymyksiä. Avointen kysymysten käytön etuna on, että vastaajaa ei rajoiteta tiettyihin vaihtoehtoihin, vaan hän saa itse muotoilla oman vastauksensa sellaiseksi kuin hänen käsityksensä kysytystä asiasta on. Huonona puolena avoimissa kysymyksissä on, että niihin jätetään herkästi vastaamatta ja vastaukset saattavat olla vajaita tai vastata kysymyksen ohi. Avoimet kysy-

mykset ovat myös työläitä analysoitavia. (Valli 2010.) Tutkimusotteen kannalta avoimet kysymykset ovat kuitenkin mielekkäimpiä, minkä vuoksi varsinaisen kyselylomakkeen kysymyksistä tehtiin avoimia. Näin päästiin paremmin käsiksi opiskelijoiden happo-emäskemian käsitteisiin.

Kyselytutkimuksen muotoja on monenlaisia ja ne vaihtelevat tutkimuksen tarkoituksen ja kohderyhmän mukaan. Aineistonkeruutilanne voi olla valvottu tai valvomaton ja se voi tapahtua joko yksittäin tai esimerkiksi koululuokittain. (Valli 2010.) Tässä tutkimuksessa kyselylomaketutkimus tehtiin valvotusti yhdelle luentoryhmälle.

Itse kyselytilaisuus on hyvä aloittaa kertomalla kyselyn tarkoituksesta ja merkityksestä, jotta vastaajat motivoituvat vastausten antamiseen. Vastausohjeet tulee olla kirjoitettuna kyselylomakkeeseen ja ne on myös hyvä käydä lävitse suullisesti. Kyselylomake aloitetaan usein taustakysymyksillä ennen varsinaisia aineistonkeruukysymyksiä. Taustakysymykset tarjoavat vastauksia selittäviä muuttujia, kuten kuinka koulutuksen laajuus vaikuttaa vastauksiin. Kyselylomake luo perustan kyselyn onnistumiselle, joten kysymysten tekemisessä ja muotoilussa on oltava huolellinen. Eniten virheitä tutkimustuloksiin aiheuttaa kysymysten muoto; tulokset vääristyvät, jos vastaaja ja tutkija ymmärtävät kysymyksen eri tavalla. Näin ollen kysymyksissä ja niiden sanamuodoissa tulee olla tarkka. Kysymykset eivät saa olla johdattelevia ja niiden on oltava sekä yksiselitteisiä että sanamuodoltaan eksakteja. (Valli 2010.)

3.2.3 Kyselylomakkeen testaus ja kyselyn suoritus

Kyselylomaketutkimuksessa käytettävä lomake on hyvä testata. Tutkimuksen kohderyhmästä johtuen tätä ei ehditty tehdä yliopisto-opinnot juuri aloittaneille syksyllä ennen opetuksen alkamista. Kyselylomakkeen alustava versio, testilomake (Liite 1), kuitenkin testattiin edellisenä keväänä Tampereen teknillisellä yliopistolla erään kemian kurssin aikana. Tuolloin saadut vastaukset ohjasivat lopullisen kyselylomakkeen syntyä, vaikka testiryhmä ei sovikaan tämän tutkimuksen kohderyhmään: he olivat jo käyneet yliopistotason kemian opintoja.

Testilomake aloitettiin taustakysymyksillä, joissa kysyttiin vastaajan pääainetta ja aiempien kemian opintojen laajuutta. Taustakysymyksissä kysyttiin myös, kummassa Tampereen yliopistoista vastaaja opiskelee ja kuinka mones opiskeluvuosi hänellä on menossa. Vastauksia kerättiin yhteensä 36 kappaletta ja kaikki testiryhmän vastaajat olivat jo käyneet yliopiston kemian kursseja.

Ensimmäinen varsinainen kysymys käsitteli neutralointireaktiota. Sen a-kohdassa pyydettiin selittämään, mitä kemiassa tarkoitetaan neutralointireaktiolla ja b-kohdassa pyydettiin kirjoittamaan neutralointireaktion yhtälö. Vastaajista 24 kappaletta, eli 67 % vastasi a-kohtaan, että neutraloinnissa happo neutraloidaan emäksellä tai päinvastoin. Neljä vastaajaa mainitsi, että neutraloinnin lopputulos ei välttämättä ole neutraali tuote, mutta 20 vastaajaa sanoi neutraloinnin päätyvän neutraaliin lopputuotteeseen. Kysymyksen b-kohtaan annettiin monenlaisia vastauksia, joista suosituimpana vastauksena $H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$ kahdellatoista maininnalla.

Seuraavissa kysymyksissä vastaajia pyydettiin määrittelemään happo ja emäs. Lähes kaikki vastaajat, 28 kappaletta eli 78 %, sanoivat hapon luovuttavan protonin ja emäksen vastaanottavan sen. Monet myös osasivat Lewis-mallin mukaiset määritelmät: hapon osalta yhdeksän vastaajaa ja emäksen osalta kahdeksan vastaajaa. Vain kaksi vastaajaa perusti määritelmänsä pH-arvoille.

Seuraavassa kysymyksessä pyydettiin määrittelemään vahva ja heikko happo. Kolmasosa vastaajista osasi sanoa, että vahva happo protolysoituu täydellisesti ja heikko happo vain osittain. Monet vastaajista tekivät eron happojen välille happovakion avulla

tai mainitsemalla, että vahvan hapon reaktio menee loppuun asti ja heikon hapon reaktio jää tasapainotilaan.

Viimeisissä kysymyksissä pyydettiin nimeämään Brønsted-mallin mukaiset happo ja emäs sekä antamaan määritelmät Lewis-hapoille ja -emäksille. Brønsted-hapoksi mainittiin suolahappo 14 kertaa sekä Brønsted-emäkseksi natriumhydroksidi kahdeksan kertaa ja hydroksidi-ioni kuusi kertaa. Lewis-happojen ja emästen määritelmät osattiin hyvin. Lähes puolet vastaajista osasi oikean määritelmän, kun 16 vastaajaa sanoi hapon vastaanottavan elektroniparin ja 17 vastaajaa mainitsi emäksen luovuttavan elektroniparin.

Kesän kuluessa muuhun aiheesta tehtyyn tutkimukseen perehtyminen muutti testilomaketta, sillä aikaisemmat tutkimukset toivat esille uusia mielenkiinnon kohteita, jotka vaikuttivat kysymysten muotoiluun. Myös aiheeseen perehtymisen aikana muodostuneet tutkimuskysymykset ohjasivat varsinaisen kyselylomakkeen kysymysten muotoiluja. Varsinainen kyselylomake (Liite 2) aloitettiin taustakysymyksellä lukiossa käytyjen kurssien määrästä, jotta saatiin taustatietoa selittämään muita vastauksia. Muita taustakysymyksiä ei nähty tarpeellisena, sillä kysely teetettiin Kemian perusteet -kurssilla, joka toimii lukion kertauskurssina ja on tarkoitus käydä ennen muita yliopiston kemian kursseja. Kyseinen kurssi antaa valmiudet yliopiston pakollisten kemian kurssien käymiseen, joten oli oletettavaa, että paikalla ei ole opiskelijoita, jotka ovat jo käyneet pakollisia yliopiston kemian kursseja. Testilomakkeen lisäksi varsinaisten tutkimuskysymysten muotoiluun vaikutti taustatutkimusaineisto sekä muut aiheeseen liittyvät tutkimukset ja niiden tulokset, joihin on perehdytty luvussa 2. Taustatutkimusaineistoa lukiessa sekä muuhun aiheesta tehtyyn tutkimukseen perehtyessä nousi esille muutamia teemoja, joihin mielenkiinto kohdistui. Kysymykset 1 ja 4 koskevat termejä ja niiden ymmärtämistä. Kysymyksen 1 tarkoituksena on nähdä, mihin ominaisuuksiin uudet yliopisto-opiskelijat perustavat hapon määrittelyn. Testiryhmän enemmistö perusti määritelmänsä Brønstedin malliin, mutta lukiokemian pohjalta tilanne voi olla toinen. Kysymyksessä 4 mielenkiintona on termi neutraloituminen ja se, ymmärretäänkö neutraloitumisreaktion tuotteen olevan aina neutraalia, kuten Schmidt (1991) oli havainnut tutkimuksessaan. Myös taustatutkimusaineiston aineisto₂ analysointi osoitti tämän suuntaisia tuloksia. Testilomakkeen kysymystä muokattiin siten, että opiskelijan oma näkemys neutraloitumisreaktiosta pääsisi paremmin esille.

Kysymykset 2 ja 3 pohjautuvat katsaukseen lukiossa käytettäviin oppikirjoihin sekä taustatutkimusaineiston aineisto₃:en. Oppikirjoissa ei ollut näkyvissä mainintaa kulloinkin opetettavasta mallista tai selitystä siitä, miksi syventävän kurssin kirjassa esimerkiksi neutraloinnin kaava on erilainen kuin pakollisen kurssin kirjassa. Aineisto₃ osoitti, että opiskelijat vastasivat joko Arrheniuksen tai Brønstedin mallin mukaisesti. Kysymyksillä siis haluttiin tutkia, onko opiskelijoille tullut käsitystä siitä, että opetuksessa käytetään eri malleja. Kysymys 5 on mukaelma aiempien tutkimusten (Demerouti et al. 2004, Schmidt 1995) kysymyksistä koskien konjugaattipareja. Schmidt oli havainnut, että konjugaattiparien käsite oli vieras ja tutkitut opiskelijat päätyivät valitsemaan konjugaattipareiksi ionit, joiden varaukset olivat yhtä suuret mutta vastakkaismerkkiset. Kysymyksellä haluttiin tutkia, ilmeneekö tämän tutkimuksen kohderyhmässä samaa ilmiötä.

Kysymykset 6 ja 7 tutkivat, kuinka opiskelijat hahmottavat ioniliuoksia mikrotasolla. Kysymys 6 selvittää, ymmärtävätkö opiskelijat mikrotason eron vahvan ja heikon hapon välillä ja vastaavasti väkevän ja laimean liuoksen välillä. Monet osaavat ulkoa fraasin vahvan hapon protolysoitumisesta, kuten testiryhmä osoitti, mutta sen oikea merkitys voi jäädä ymmärtämättä. Myös havainto pH-arvojen ja happovakioiden suu-
osta heikkojen ja vahvojen happojen selittävänä tekijänä taustatutkimusaineiston aineis-

to₁:ssä osoitti, että mikrotason tietämystä on hyvä tutkia. Kysymyksen 7 tarkoitus oli nähdä, ymmärtävätkö opiskelijat neutraloitumisreaktion mikrotasolla ja kuinka he ymmärtävät aineiden käyttäytymisen vesiliuoksessa.

Ennen kyselyn suorittamista kyselylomaketta näytettiin kahdelle kemian opettajalle ja yhdelle opiskelijalle, joiden kommenttien mukaan lomaketta muokattiin, kunnes se saavutti lopullisen muotonsa. Kysymyksistä pyrittiin tekemään mahdollisimman yksiselitteiset ja selkeät. Kysymysten 6 ja 7 esitystavan oletettiin olevan opiskelijoille tuttu kemian oppikirjoista.

Kysely suoritettiin Tampereen teknillisellä yliopistolla syksyllä 2013 ensimmäisen vuoden opiskelijoille suunnatun Kemian perusteet -kurssin aloitusluennolla, jolla uskotaan olevan opiskelijoita vaihtelevilta pohjatasoilta. Kyselyyn vastaamiseen annettiin 20 minuuttia aikaa luennon alusta ja vastaajilla oli mahdollisuus palauttaa lomake vasta luennon jälkeen, mikäli tarvitsivat enemmän aikaa. Koska kysely kohdistui lukion jälkeisiin käsityksiin happo-emäskemiasta, oli tärkeää, että tutkittavilla ei ollut vielä yliopistotason kemian opiskelua takanaan. Tämän takia kysely pyrittiin tekemään mahdollisimman nopeasti syksyllä lukuvuoden alettua, eli opintojakson ensimmäisen luennon alussa ennen varsinaisen opetuksen alkamista. Oletuksena oli, että paikallaolijoilla ei ollut vielä yliopiston kemian opintoja takana. Kysely suoritettiin valvotusti, jolloin tutkija pääsi itse ohjeistamaan kyselyn ja kertomaan kyselyn tarkoituksesta. Tutkijan läsnäololla pyrittiin myös motivoimaan opiskelijoita kyselyyn vastaamiseen. Täytettyjä kyselylomakkeita palautettiin 60 kappaletta.

4 Tulokset ja niiden tarkastelu

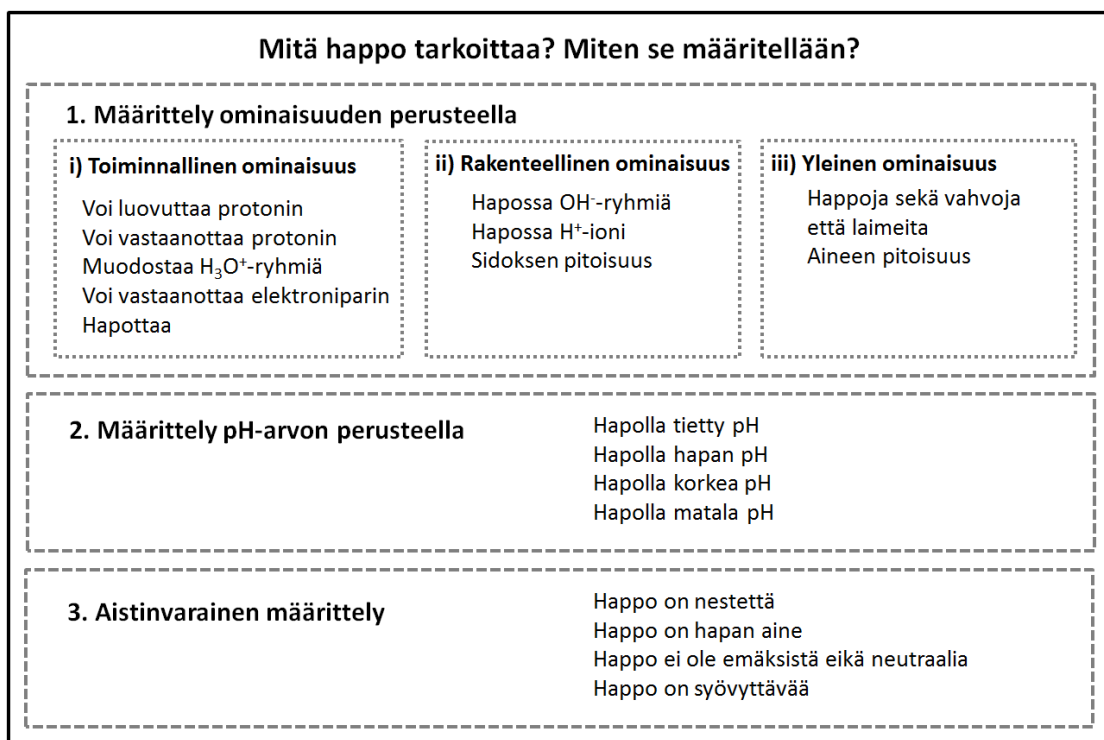
Tässä luvussa käydään läpi tutkimuksen tulokset ja tarkastellaan niitä. Aineistona käytetään varsinaisella kyselylomakkeella kerättyjä vastauksia, jotka käsitellään tutkimusotteen vaatimalla tavalla. Kyselylomakkeen vastaukset on koottu liitteisiin 3 - 7. Vastaukset on koodattu vastaajien mukaan ja tekstissä vastauksiin viitataan hakasulkeissa olevilla numeroilla. Lainaukset vastauksista on merkitty tekstiin kursiiilla. Jokainen kyselylomakkeen kysymys on käsitelty omana kohtanaan, sillä kysymykset poikkeavat suuresti toisistaan. Kaikkien kysymysten käsittely ei ole yhtä laajaa vastausten luonteesta johtuen.

4.1 Hapon määrittely

Ensimmäisessä kysymyksessä kysyttiin, mitä happo vastaajan mielestä tarkoittaa ja miten se määritellään. Kaikki vastaukset on kerätty liitteeseen 3. Vastaukset luettiin lävitse ja niistä etsittiin merkitysyksiköitä, joita luokiteltiin samankaltaisten merkitysyksiköiden kanssa ensimmäisen tason kategorioiksi. Näistä hahmotuivat alustavat kuvauskategoriat, jotka varmistettiin käymällä aineisto lävitse useamman kerran. Merkitysyksiköiden paikkoja kategorioissa tarkastettiin ja muutettiin, kunnes kategorioihin oltiin tyytyväisiä. Kuvauskategoriat saivat lopullisen muotonsa, kun niiden erillisuus varmistettiin. Kolmanteen kuvauskategoriaan muotoutui lisäksi kolme erillistä käsitekategoriaa, kun siihen luokitelluista kategorioista löytyi yhteneväisyyksiä.

Määritetyt kuvauskategoriat ja niihin sisältyvät käsitekategoriat ja kategoriat on esitetty kuvassa 4.1. Kuvauskategoriat on merkitty kuvaan katkoviivalla ja ne on numeroitu 1 - 3. Kuvauskategoria 1 sisältää kolme käsitekategoriaa, jotka on merkitty pisteviivalla ja ne on numeroitu i) - iii). Lihavoidut tekstit ovat kuvauskategorioiden ja käsitekategorioiden nimiä ja lihavoimattomat tekstit niihin sisältyviä kategorioita, jotka ovat muodostuneet vastauksista löydettyistä merkitysyksiköistä. Koska kategoriat koostuvat vastauksista löydettyistä merkitysyksiköistä, ne eivät välttämättä ole tieteellisesti paikansapitäviä.

Kuvauskategoriajärjestelmä on hierarkkinen siten, että kuvauskategoria 1 on teoreettiselta sisällöltään hienostunein. Tähän kategorisointiin päädyttiin siksi, että aistinvarainen määrittely on hyvin karkea tapa määritellä happo. pH-arvon perusteella tehty määrittely vaatii enemmän ymmärrystä kuin aistinvaraisuus. Ominaisuuden perusteella määrittely nähtiin kuitenkin hienostuneimmaksi, sillä se osoittaa ymmärrystä muun muassa hapon rakenteesta ja siitä, minkälaisia toiminnallisia ominaisuuksia hapolla on. Myös kuvauskategorian 1 sisältämät käsitekategoriat ovat hierarkkisia siten, että käsitekategoria i) on sisällöltään teoreettisesti kehittynein. Tähän luokitteluun päädyttiin siksi, että toiminnallinen ominaisuus määrittelee happoa paremmin kuin rakenteellinen ominaisuus, joka taas on tarkempi määrittely kuin yleinen ominaisuus. Luokittelussa on otettu huomioon vain käsitekategoriat ja kuvauskategoriat kokonaisuudessaan. Näin olleen esimerkiksi toiminnallisen ominaisuuden käsitekategoriaan sisältyy sekä kategoria, jossa sanotaan hapon luovuttavan protonin, että kategoria, jossa sanotaan hapon vastaanottavan protonin.



Kuva 4.1 Ensimmäisen kysymyksen vastauksista määritetty kuvauskategoriajärjestelmä.

4.1.1 Määrittely ominaisuuden perusteella

Ensimmäisessä kuvauskategoriassa happo määritellään jonkin sen ominaisuuden perusteella. Tämä kuvauskategoria on jaettu kolmeen käsitekategoriaan, hapon toiminnalliseen ominaisuuteen, sen rakenteelliseen ominaisuuteen ja sen yleiseen ominaisuuteen.

Ensimmäisessä käsitekategoriassa happoja määriteltiin niiden toiminnallisten ominaisuuksien perusteella. Monessa vastauksessa mainittiin, että happo luovuttaa protolyysissä protonin. Osassa oli sekoitettu happo ja emäs mainiten, että happo vastaanottaa protonin. Hapon mainittiin myös muodostavan hydroksyyli-ryhmiä sekä voivan vastaanottaa elektroniparin. Yksi vastaus mainitsi hapon hapottavan. Vastauksen perässä hakusulkeissa oleva numero on vastaajan koodinnumero.

Happo hapottaa? [9]

Happo on yhdiste, joka protolyysissä luovuttaa protonin. [12]

Aine, joka neutraalissa vesiliuoksessa luovuttaa H^+ -ionin. [18]

Happo on aine, joka luovuttaa vedyn vedelle ja aiheuttaa $[H_3O^+]$ -ioneita. [32]

Aine, joka muodostaa H_3O^+ -ryhmiä. [38]

Happo on aine, joka kykenee luovuttamaan protoninsiirtoreaktiossa vedyn protonin emäkselle. [56]

Happo voi vastaanottaa elektroniparin. [57]

Happo ottaa vastaan vedyn emäkseltä ja aiheuttaa liuoksesta happaman eli liuoksessa on H_3O^+ . [58]

Toiseen käsitekategoriaan on kerätty merkitysyksiköt, jotka mainitsevat jonkin rakenteellisen ominaisuuden, jonka mukaan happo määritellään. Protonien lisäksi näiksi rakenteellisiksi ominaisuuksiksi on vastauksissa mainittu OH-ryhmät sekä jonkin sidoksen pitoisuus.

Hapossa on yhdisteen hiileen kiinnittynyt OH -yhdiste. [1]
Muistaakseni OH-ryhmät liittyvät myös happoihin. [5]
Hapossa on H⁺-ioni. [6]
Erään aineen (tai sidoksen?) pitoisuus. [25]
Happo on liuos, jossa on enemmän OH-ioneja kuin OH₃⁺-ioneja. [46]

Kolmannessa käsitekategoriassa hapot on määritelty jonkin yleisen ominaisuuden mukaan. Yhdeksi hapon yleiseksi ominaisuudeksi on vastauksissa annettu happojen jakautuminen vahvoiksi ja laimeiksi hapoiksi. Vastaaja on sekoittanut käyttämänsä termit, joten ei voida tietää, onko hän hakenut vastauksessaan heikkoja ja vahvoja happoja vai hapon erilaisia konsentraatioita. Toisena ominaisuutena on mainittu jonkin aineen pitoisuus. Tämä vastaus luokiteltiin myös rakenteellisen ominaisuuden käsitekategoriaan, sillä sama vastaus on tulkittavissa myös rakenteellisena ominaisuutena.

On olemassa vahvoja ja laimeita happoja. [21]
Erään aineen (tai sidoksen?) pitoisuus. [25]

4.1.2 Määrittely pH-arvon perusteella

Toiseksi kuvauskategoriaksi määritettiin ne merkitysyksiköt, jotka mainitsevat pH-arvon perusteella tehdyt hapon määrittelyt. Käsitykset hapon pH-arvosta osoittautuivat moninaisiksi. Ensimmäiseksi kategoriaksi muodotui käsitys siitä, että hapolla on jokin tietty pH, mutta tätä pH-arvoa tai pH-aluetta ei vastauksissa määritelty tarkemmin.

Hapon pH on tietty. [17]
Happo tai emäs määritellään pH-arvon mukaan. [30]

Toinen kategoria turvautui kuvailevaan selitykseen hapon pH-arvosta. Tässä kategoriassa pH:n sanottiin olevan hapon ilman tarkempaa mainintaa pH-arvosta tai pH-alueesta.

Jotain, jonka pH-arvo on hapan. [28]

Kolmannessa kategoriassa mainitaan, että hapon pH olisi korkea. Osa vastaajista ei määritellyt pH-arvoa sen tarkemmin, osa taas oli muistanut neutraalin pH-arvon 7 ja sanoi hapon olevan sitä korkeammalla pH-alueella.

Hapon pH on yli 7. [1]
Sen pH on happaman puolella eli olisikohan se päälle 7:n. [5]
Hapon pH-arvo on korkea. [35]

Neljäs ja viimeinen kategoria pH-arvon perusteella tehdyissä määrittelyissä mainitsee, että hapon pH arvo on pieni. Tämän ilmaisemiseen käytettiin monia erilaisia tapoja. Osa vastaajista vain mainitsi pH-arvon olevan pieni, matala tai alhainen, tai sen olevan pienempi kuin neutraali pH. Jotkut vastaajat antoivat lukuarvon, jonka alle hapon pH sijoittuu. Tämä lukuarvo vaihteli seitsemästä neljään.

Hapon pH on matala. [4]
Aine, joka on pH-arvoltaan alle 6. [21]
Aine, jonka pH alle neutraali. [24]

Hapon pH on alhainen. [31]
Hapolla on pieni pH, sanotaan vaikka alle 4? [33]
pH alle 5. [34]
Aine, jonka pH-arvo on alle 7. [39]

4.1.3 Aistinvarainen määrittely

Kolmanneksi kuvauskategoriaksi määritettiin aistinvaraisuuteen perustuvat määrittelytavat. Tämä kuvauskategoria pitää sisällään kategoriat, joiden merkitysyksiköt mainitsevat jonkin aistinvaraisen tavan määritellä happo. Sen ensimmäisessä kategoriassa happo määritellään yksinkertaisesti vain sen olomuodon perusteella mainiten, että happo on neste tai liuos.

Happo on nestettä. [8]
Happo on liuos. [11]

Toiseksi aistinvaraisuuteen perustuvaksi kategoriaksi muotoutui kuvaileva selitys haposta. Tässä kategoriassa palataan antiikinaikaiseen määritelmään, jossa happo määritellään sen perusteella, että se on hapan. Kolmas kategoria on samantyyppinen hakien määrittelyn negaation kautta. Siinä määrittely on suoritettu mainitsemalla, mitä happo ei ole tai mikä on sen vastakohta.

Happo on emäksen vastakohta. [4]
Happo on hapan aine. [17]
Happo ei ole emäs eikä neutraali. [53]

Aistinvaraisuuteen perustuvan kuvauskategorian viimeinen, neljäs kategoria tukeutuu havaintoihin hapon syövyttävyydestä ja pistelevästä tunteesta iholla.

Happo on syövyttävää. [35]
Happo on hapanta, pistelevää ainetta/seosta. [54]

4.1.4 Analyysia ensimmäisen kysymyksen vastauksista

Ensimmäisen kysymyksen vastauksien analysointi osoittaa, että kohderyhmän tietotaso on hyvin vaihteleva. Vastauksia kerättiin 60 vastaajalta, joista yksi jätti vastaamatta. Merkitysyksiköitä vastauksista määritettiin yhteensä 93 kappaletta. Nämä jakautuivat suhteellisen tasaisesti eri kuvauskategorioiden välille; ensimmäiseen kuvauskategoriaan luokiteltiin 29 merkitysyksikköä, toiseen kuvauskategoriaan 37 ja kolmanteen 27 merkitysyksikköä. Suosituin yksittäinen merkitysyksikkö mainitsi hapon pH-arvon olevan alle seitsemän. Tämä merkitysyksikkö esiintyi 13 kertaa. Tutkimuksen luonteen mukaisesti vastausten perusteella luotu kuvauskategoriajärjestelmä, joka on esitetty kuvassa 4.1, muotoutuu tärkeimmäksi tutkimustulokseksi tämän kysymyksen osalta. Kuvauskategoriajärjestelmä on hierarkkinen, jonka kuvauskategoriat ovat määritelmä ominaisuuden perusteella, määritelmä pH-arvon perusteella sekä aistinvarainen määritelmä. Ominaisuus-kategoria jakautuu kolmeen hierarkkiseen käsitekategoriaan, toiminnalliseen, rakenteelliseen ja yleiseen ominaisuuteen.

Vaikka fenomenografinen tutkimusote ei ole kiinnostunut käsitysten mahdollisista virheistä, jatkettiin aineiston käsittelyä jakamalla merkitysyksiköt karkeasti oikeiksi ja vääriksi käsityksiksi. Tämä tehtiin siten, että sanamuodot ja pienet epätarkkuudet jätet-

tiin huomioimatta ja vain selkeästi väärät ymmärrykset luokiteltiin vääriksi. Esimerkiksi vastaus "Happo on pH-arvoltaan hapan aine." on luokiteltu oikeaksi käsitykseksi. Luokittelut on esitetty liitteessä 3 kunkin merkitysyksikön kohdalla. Ensimmäisen, ominaisuuksiin perustuvissa määrittelyissä virheellisiä käsityksiä oli 11 ja oikeita 18 kappaletta. pH-arvon perusteella tehdyistä määrittelyistä seitsemän oli virheellisiä 30 oikeaa käsitystä vastaan. Kolmannen, aistinvaraisen määrittelyn kuvauskategorian 27 merkitysyksiköstä vain yksi edusti väärää ymmärrystä 26 merkitysyksikön ollessa ajankohtaisen tieteellisen tiedon mukaisia, oikeita käsityksiä.

Tämä havainto virheellisten käsitysten osuuden kasvamisesta hienostuneempaan kuvauskategoriaan siirryttäessä osoittaa vastaajien käsiteverkostojen puutteellisuuden. Kun käsitteet ja ilmiöt käyvät abstraktimmiksi (aistinvaraisuus < pH < ominaisuus), joutuvat vastaajat turvautumaan ulkoa opeteltuun tietoon. Tällöin käsitettä tai ilmiötä ei ole ymmärretty ja sisäistetty, vaan se on käsiteverkostossa omana irrallisena yksikkönään. Näitä irrallisia käsitteitä ja ilmiöitä muistetaan herkästi väärin. Kun tieto ei ole kytkeytynyt käsiteverkkoon, on helppo sekoittaa esimerkiksi pH-asteikon alueet ja se, kuinka protoni nyt käyttäytyikään protoninsiirtoreaktiossa.

Vastaajilta kysyttiin taustatietona lukiossa käytyjen kemian kurssien määrä ja näiden tietojen avulla pyrittiin saamaan parempi ymmärrys merkitysyksiköiden jakautumisesta. Vastaajista hieman alle puolet, 28 vastaajaa, oli käynyt kemiasta vain pakollisen kurssin 1 ja loput, 32 vastaajaa, oli valinnut yhden tai useamman syventävän kurssin. Niistä merkitysyksiköistä, jotka kerättiin vain yhden kemian kurssin käyneiltä vastaajilta, 38 luokiteltiin oikeiksi käsityksiksi ja kuusi vääriksi. Syventäviä kursseja valinneiden vastauksista 36 merkitysyksikköä oli oikeita käsityksiä ja 13 väärää. Taulukosta 4.1 nähdään, kuinka merkitysyksiköt jakautuvat eri kuvauskategorioissa, kun otetaan huomioon oikeat ja väärät käsitykset sekä lukiossa käytyjen kurssien lukumäärä. Taulukon arvojen summaksi tulee 93, joka on vastauksista löydettyjen merkitysyksiköiden määrä. Kun katsotaan vain oikeiden ja väärin käsitysten suhdetta, ei voida suoraan sanoa, että syventävät kurssit sinänsä takaisivat parempaa osaamista happojen ja emästen osalta. Vastaajia ei kuitenkaan pyydetty erittelemään, ovatko he käyneet lukion syventävistä kursseista kurssin 5, jolla käsitellään happoja ja emäksiä.

Taulukko 4.1 Ensimmäisen kysymyksen merkitysyksiköiden jakautuminen kuvauskategorioissa.

	yksi lukiokurssi		useampi lukiokurssi	
	väärä käsitys	oikea käsitys	väärä käsitys	oikea käsitys
1. kuvauskategoria (ominaisuus)	2	3	9	15
2. kuvauskategoria (pH)	3	20	4	10
3. kuvauskategoria (aistinvarainen)	1	15	0	11

Kun kiinnitetään huomiota yhden kurssin käyneiden ja syventäviä kursseja valinneiden vastaajien vastausten sisältöihin, nähdään syventävien kurssien arvo. Huomattavaa on, että yhden kurssin käyneillä vastaajilla oikeiksi käsityksiksi luokitellut merkitysyksiköt painottuvat vahvasti aistinvaraiseen määrittelyyn sekä pH-arvon perusteella tehtyyn määrittelyyn. Banerjee (1991) kirjoitti tutkimuksessaan samasta ilmiöstä. Hän huomasi, että oppilaat, jotka pitäytyvät Arrheniuksen mallissa, jäävät happo-emäselityksissään kuvailevalle tasolle. Tämä pätee myös tähän tutkimukseen, sillä Brønsted–Lowry-malli tulee oppikirjoissa esille vasta lukion syventävällä kurssilla 5

(Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003). Syventäviä kursseja valinneiden oikeat käsitykset jakautuvat kaikkien kuvauskategorioiden välille, mutta väärät käsitykset painottuvat ominaisuus-kuvauskategoriaan. On hyvä miettiä, onko syventävien kurssien käyminen hyödyllistä, mikäli tieto ei linkity käsiteverkostoon oikealla tavalla ja se muistetaan väärin. Toisaalta voidaan miettiä, muuttuisivatko tulokset, jos Suomessa seurattaisiin Ranskan mallia ja Arrhenius jätettäisiin vain sivuhuomautukseksi mallien kehityksen historiasta.

4.2 Happo-emäsmallit

Kyselylomakkeen toisessa kysymyksessä kysyttiin, mitä vastaaja ymmärtää Arrhenius-mallilla ja Brønsted–Lowry-mallilla ja onko hän aikaisemmin kuullut näistä eri malleista. Kysymyksen tarkoituksena oli selvittää, onko vastaajilla ymmärrystä siitä, että aikaisemmassa opetuksessa on käytetty erilaisia happo-emäsmalleja. Vastausten luonteen perusteella varsinaisia kuvauskategorioita ei saatu luotua, vaan vastaukset on vain jaoteltu kategorioihin. Nämä on kerätty liitteeseen 4. Ensimmäinen kategoria sisältää vastaukset, joissa vastaaja ei ole kuullut eri malleista. Toisessa kategoriassa vastaaja ilmoittaa kuulleensa malleista, mutta ei määrittele tarkemmin, mitä on kuullut. Kolmannessa kategoriassa vastaaja on avannut ymmärrystään enemmän.

Vastausten perusteella kävi selväksi, että suurimmalle osalle mallit eivät sanoneet mitään. Selkeä enemmistö vastaajista, 47 kappaletta, vastasi, että ei ole koskaan kuullut eri malleista tai ei muista kuulleensa niistä. Tämän lisäksi viisi vastaajaa jätti vastaamatta kysymykseen, joten voidaan olettaa, että hekään eivät ole malleista kuulleet. Vastauksista huomasi, että kysymys lähinnä hämmensi vastaajia. Vastauksen perässä hakasulkeissa oleva numero on vastaajan koodinumero.

En ole kuullutkaan. [7]

O.O No en... [10]

? [12]

En muista kuulleeni mitään. [21]

En ole kuullut malleista. [42]

Jos olen niin unohtanut. [44]

Neljä vastaajaa sanoi kuulleensa malleista, mutta ei kertonut tarkemmin, mitä niillä ymmärsi. Ilman tarkempia tietoja ei voida sanoa, sekoittavatko vastaajat mallit joihinkin toisiin malleihin, vai onko heille oikeasti opetettu erilaisia happo-emäsmalleja.

Olen kuullut/lukenut ohimennen, mutta ei muista enää mitään. [14]

En ole koskaan kuullut niistä. Tai olen kuullut Arrhenius-mallista, mutten muista siitä mitään. [17]

Olen kuullut Brønsted–Lowry-mallista. [18]

Olen kuullut. [48]

Vain kaksi vastaajaa kertoi ymmärryksestään tarkemmin. Toinen on sekoittanut Arrhenius-mallin ja atomiorbitaalimallin keskenään. Vain yksi vastaaja on osannut kertoa oikein eri happo-emäsmalleista. Huomattavaa on, että kyseinen vastaaja ilmoitti käyneensä kansainvälisen IB-lukion.

Arrhenius-malli kuvaa elektronien sijoittumista atomin eri orbitaaleille. [2]

Brønsted–Lowry-mallissa happo luovuttaa protonin ja emäs puolestaan vastaanottaa protonin. Arrhenius mallissa happo myöskin luovuttaa protonin, mutta emäs puolestaan OH^- -ionin. [57]

Vastaukset eivät puhu mairittelevasti suomalaisen opetussuunnitelman mukaisesta lukio-opetuksesta. Lukion opetussuunnitelman perusteissa tuodaan esille mallien tärkeys ilmiöiden tulkitsemisessa ja selittämisessä:

"Kemian opetukselle on luonteenomaista kemiallisten ilmiöiden ja aineiden ominaisuuksien havaitseminen ja tutkiminen kokeellisesti, ilmiöiden tulkitseminen ja selittäminen mallien ja rakenteiden avulla, ilmiöiden kuvaaminen kemian merkkikielellä sekä ilmiöiden mallintaminen ja matemaattinen käsittely." (Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003, s. 152.)

Kyselyn tulos osoittaa, että happo-emäsmallien olemassaolon osalta vastaajien tietämys on hyvin vajavaista. Oppikirjoja tutkimalla selviää, että yläasteella ja lukion ensimmäisellä kemian kurssilla opetuksessa käytettävä happo-emäsmalli on Arrheniuksen malli. Lukion syventävällä kurssilla 5 käytetään kuitenkin Brønsted–Lowry-mallia. Mikäli missään kohdin opetusta ei tuoda ilmi eri mallien olemassaoloa, opiskelija saattaa kehittää oman hybridimallinsa, joka pitää sisällään ominaisuuksia eri happo-emäsmalleista. Hybridimallit kehittyvät herkästi, mikäli uudemman mallin etuja vanhaan nähden ei painoteta ja vanhaa mallia osoiteta jollain tavalla puutteelliseksi (Drechsler & Van Driel 2008). Hybridimallit ovat dynaamisia ja konteksti vaikuttaa suuresti siihen, mitä ominaisuuksia opiskelija antaa mallille (McClary ja Talanquer 2011). Tutkimuksesta käy ilmi, että käytyjen kurssien lukumäärällä ei ole vaikutusta tietämykseen eri malleista. Tämä on huolestuttavaa varsinkin syventäviä kursseja käyneiden kohdalla, sillä juuri heillä on riski kehittää omia, mahdollisesti virhekkäisyyksiä sisältäviä hybridimalleja.

4.3 Happo-emäsreaktioiden kaavat

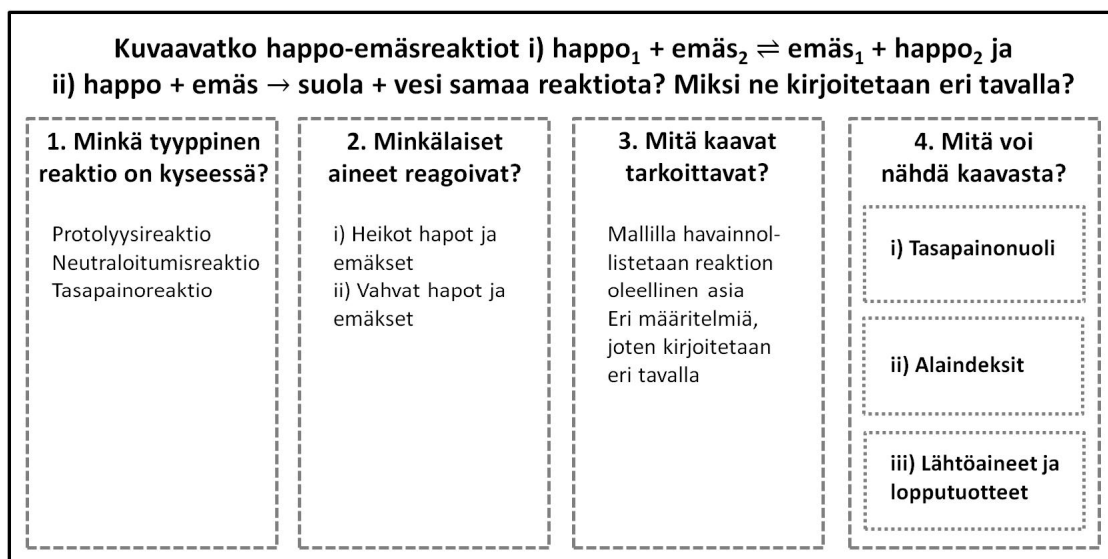
Kolmas kysymys esitteli vastaajille kaksi happo-emäsreaktiota, jotka mainitaan lukion kemian kursseilla; i) $\text{happo}_1 + \text{emäs}_2 \rightleftharpoons \text{emäs}_1 + \text{happo}_2$ ja ii) $\text{happo} + \text{emäs} \rightarrow \text{suola} + \text{vesi}$. Vastaajilta kysyttiin, kuvaavatko nämä samaa reaktiota ja miksi ne kirjoitetaan eri tavalla. Tämä kysymys on jatkoa toiselle kysymykselle ja sen tarkoituksena on selvittää, ymmärtävätkö vastaajat tieteellisen tiedon luonteen alati kehittyvinä teorioina, jotka pyrkivät kuvaamaan ilmiöitä paremmin ja tarkemmin kuin edeltäjänsä. Justi ja Gilbert (2000) havaitsivat tutkimuksessaan, että oppikirjoissa harvoin tuodaan esille, kuinka mallit ovat kehittyneet hitaasti useamman vaiheen kautta. Oppikirjoista saakin usein kuvan, että mallit ovat valmiina syntyneitä teorioita.

Vastaukset on kerätty liitteeseen 5. Vastaajista 20 jätti vastaamatta kysymykseen tai mainitsi vastauksessaan, ettei tiennyt tai muistanut asiaa. Tämän lisäksi 8 vastaajaa vastasi vain kyllä tai ei perustelematta vastaustaan mitenkään. Näin ollen vain hieman yli puolet, 32 vastaajaa 60 vastaajasta, koki tietävänsä tarpeeksi vastataksaan kysymykseen sen vaatimalla tavalla.

Vastaukset analysoitiin etsimällä niistä merkitysyksiköitä, jotka luokiteltiin samankaltaisten kanssa kategorioihin. Merkitysyksiköitä vastauksista löydettiin yhteensä 39 kappaletta. Huomattavaa on, että näistä merkitysyksiköistä vain 10 oli vastaajilta, jotka eivät olleet käyneet kemian syventäviä kursseja lukiossa. Tämä vähäinen määrä on ymmärrettävää, sillä lukion pakollisella kurssilla ei Brønstedin mallia käsitellä lainkaan.

Kuvauskategorioiden luonnissa ei otettu huomioon, oliko vastaaja vastannut ensimmäiseen kysymykseen kyllä vai ei. Luokittelu perustettiin sille, kuinka vastaaja oli kysymystä lähestynyt ja mille ajattelumallille hän oli vastauksensa perustanut. Ensimmäinen kuvauskategoria koostuu niistä merkitysyksiköistä, jotka vastaavat kysymykseen siitä, minkä tyyppiset reaktiot ovat kyseessä. Toinen kuvauskategoria vastaa kysymykseen, minkälaiset aineet reagoivat. Kolmannessa kuvauskategoriassa vastaus on perustettu sille, mitä kaavat tarkoittavat ja neljäs sille, mitä voidaan suoraan nähdä kaavasta. Neljäs kuvauskategoria jakautuu edelleen kolmeksi käsitekategoriaksi.

Kuvauskategoriat voidaan järjestää horisontaaliseksi kuvauskategoriajärjestelmäksi, joka on esitetty kuvassa 4.2. Kuvauskategoriat on merkitty kuvaan katkoviivalla ja ne on numeroitu 1 - 4. Kuvauskategoria 4 sisältää kolme käsitekategoriaa, jotka on merkitty kuvaan pisteviivalla ja numeroitu i) - iii). Lihavoidut tekstit ovat kuvauskategorioiden ja käsitekategorioiden nimiä ja lihavoimattomat tekstit niihin sisältyviä kategorioita, jotka ovat muodostuneet vastauksista löydettyistä merkitysyksiköistä. Koska kategoriat koostuvat vastauksista löydettyistä merkitysyksiköistä, ne eivät välttämättä ole tieteellisesti paikkansapitäviä. Kuvauskategoriajärjestelmä on horisontaalinen. Näin ollen kuvauskategorioiden välille ei ole löydetty eroa teoreettisessa hienostuneisuudessa, vaan kuvauskategoriat ovat keskenään samanvertaisia. Myös neljännen kuvauskategorian sisältämät käsitekategoriat ovat keskenään horisontaalisia.



Kuva 4.2 Kolmannen kysymyksen vastauksista määritetty kuvauskategoriajärjestelmä.

Ensimmäisessä kuvauskategoriassa vastaukset on perusteltu vertailemalla, minkä tyyppiset reaktiot olivat kyseessä. Koska luokittelussa ei huomioitu ensimmäisen kohdan vastausta, sisältyy tähän kuvauskategoriaan sekä kyllä että ei vastauksia. Osalle erilainen reaktiotyyppi on perustelu siitä, että kaavat kuvaavat eri reaktiota, toiset taas sanoivat, että ne kuvaavat samaa reaktiota reaktiotyypistä huolimatta. Yksi vastaaja ajatteli toisen reaktion liittyvän liukoisuustuloihin. Vastauksen perässä hakasulkeissa oleva numero on vastaajan koodinumero.

Nämä ovat molemmat hapon ja emäksen välisiä reaktioita. Ero ii) on se, että tässä reaktiossa on kyseessä neutraloituminen. [1]

i) on normaali protoninsiirtoreaktio. ii) on neutraloitumisreaktio. Eli periaatteessa sama reaktio. [15]

Ei. Ensimmäinen on tasapainoreaktio, toinen hapon neutraloitumisreaktio. [16]
i) ensimmäinen on tavallinen happo-emäsreaktio. ii) on liukoisuuteen liittyvä kaava, missä vesi toimii happona. [22]

Vastauksista käy ilmi, että vastaajista suuri osa ei pidä ensimmäisen kaavan mukaisesta reaktiosta neutraloitumisena. Tämä herättää kysymyksen, nähdäänkö vain pH:ltaan neutraaliin lopputuotteeseen päätyvä reaktio neutraloitumisena. Schmidt (1991) teki samansuuntaisen havainnon tutkimuksessaan. Hän havaitsi, että oppilaat eivät pidä neutraloitumista prosessina, vaan täydellisenä oksonium- ja hydroksidi-ionien "kumoutumisena", joka tuottaa aina neutraalin lopputuotteen.

Toinen kuvauskategoria pitää sisällään vastaukset, jotka perusteltiin reagoivien aineiden mukaan. Näin vastanneet ovat ajatelleet, että kaavoista ensimmäinen kuvaa heikon hapon ja emäksen välistä reaktiota ja toinen taas vahvan hapon ja emäksen reaktiota. Monet toivat vielä esille täydellisen ja osittaisen protolysoitumisen perusteena sille, että kaavat eivät kuvaa samaa reaktiota. Yksi vastaaja ajatteli ensimmäisen reaktion kuvaavan puskuriliuosta.

Eivät kuvaa. Ensimmäisessä reaktiossa kyseessä on heikko happo ja emäs. Jälkimmäisessä kaikki protonit luovutetaan ja vastaanotetaan. [19]
i-reaktiossa on puskuriliuos, ii-reaktiossa vahva happo ja vahva emäs kumoavat toistensa vaikutukset. [27]
i) heikko happo + heikko emäs. ii) vahva happo + vahva emäs. [43]
Eivät kuvaa samaa. Ylempi on heikon hapon tai emäksen reaktio, missä lähtöaineet eivät protolysoitu täydellisesti. Alempi on vahvan hapon tai emäksen reaktio, missä happo tai emäs protolysoituu täysin. [58]

Kolmanteen kuvauskategoriaan luokitelluissa vastauksissa on mietitty, mitä kaavat itse asiassa tarkoittavat. Tämä kuvauskategoria pitää sisällään vain kaksi vastausta. Toisessa on ymmärretty, että kyse on eri malleista ja toisessa on ymmärretty kaavat eri määritelmänä.

Kuvaavat, mutta mallilla havainnollistetaan ko. reaktion oleellinen asia. [21]
Ne kirjoitetaan eri tavalla, koska on eri määritelmiä. [57]

Suurin osa vastauksista luokiteltiin neljänteen kuvauskategoriaan. Siihen sisältyvät vastaukset perustuvat siihen, mitä kaavoista pystyy näkemään suoraan ilman suurempaa miettimistä siitä, mitä niissä oikeasti sanotaan. Kuten ensimmäiseen kuvauskategoriaan, myös tähän kuvauskategoriaan sisältyy sekä "kyllä" että "ei" -vastauksia. Neljännen kuvauskategorian vastaukset voidaan luokitella eteenpäin kolmeksi käsitekategoriaksi. Ensimmäisessä käsitekategoriassa vastaaja on kiinnittänyt huomionsa ensimmäisen kaavan tasapainonuoleen, toisessa huomio on kiinnitetty alaindeksiin ja kolmannessa käsitekategoriassa on vertailtu kaavoissa näkyviä lähtöaineita ja reaktiotuotteita.

i)-kohdassa atomit vaihtuvat keskenään muodostaen uudet happo ja emäs. [1]
Reaktiotuotteet eri. [8]
Ei. Alaindeksit. [23]
Eivät kuvaa, koska suolan ja veden reaktiosta ei tule happoa ja emästä, joista ne on alun perin muodostettu. [29]
Kyllä, toinen on tasapainoreaktio eli jää happoa ja emästä jäljelle. [32]
Kyllä, suolat voivat olla emäksiä ja vesi voi toimia happona tai emäksenä. [38]

Eivät kuvaa samaa reaktiota. Alempi ii)-reaktio kuvaa neutraloitumisreaktiota, missä syntyy suolaa ja vettä. Ylemmässä reaktiossa uudet emäkset ja hapot voivat vielä reagoida eteenpäin. [48]

Ylempi on kaksisuuntainen reaktio, alempi yksisuuntainen. Reaktio ei välttämättä ole sama. [52]

Koska toinen reaktio ei voi mennä toiseen suuntaan. [60]

Neljannen kuvauskategorian vastaukset olivat kaikista vastauksista yleisimpiä 24 merkitysyksiköllään. Tämä on ymmärrettävää, sillä näin vastaaminen tarvitsee vain havainnointikykyä eikä niinkään tietoa ja ymmärrystä asiasta. Niistä vastaajista, jotka olivat käyneet vain kemian pakollisen kurssin lukiossa, suurin osa vastasi tähän kuvauskategoriaan luokiteltavalla tavalla. Tämä oli odotettavissa, sillä pakollisella kurssilla ei käydä Brønstedin mallia, joten heillä ei näin ollut tarpeeksi tietoa vastataksaan kysymykseen muulla tavalla. Taulukkoon 4.2 on koottu, kuinka merkitysyksiköt jakautuivat eri kuvauskategorioiden välille, kun otetaan huomioon vastaajien lukiossa käymien kurssien lukumäärä. Taulukon arvojen summaksi tulee 39, joka on vastauksista löydettyjen merkitysyksiköiden määrä.

Taulukko 4.2 Kolmannen kysymyksen merkitysyksiköiden jakautuminen kuvauskategorioissa.

	yksi lukiokurssi	useampi lukiokurssi
1. kuvauskategoria (minkä tyyppinen reaktio)	2	5
2. kuvauskategoria (minkälaiset aineet reagoivat)	0	6
3. kuvauskategoria (mitä kaavat tarkoittavat)	0	2
4. kuvauskategoria (mitä kaavasta voi nähdä)	8	16

Kolmannen kysymyksen vastaukset osoittavat samaa kuin toisen kysymyksen vastaukset; kohderyhmän tietämys eri happo-emäsmalleista on hyvin puutteellista. Pohjimmiltaan samaa reaktiota, neutraloitumista, esittävät kaavat mielletään eri reaktioiksi, koska ei ymmärretä, että kaavat ovat eri teorioiden mukaisia. Tämä puhuu vielä karumpaa kieltä mallien ymmärtämisestä kuin toisen kysymyksen vastaukset. Drechsler ja Van Driel (2009) havaitsivat, että ruotsalaiset opettajat eivät tuo eri malleja esille opetuksessaan, sillä he pelkäävät niiden hämmentävän oppilaita. Onkin ymmärrettävää, että opettaja ei kerro eri mallien nimiä, jos niitä ei oppikirjassakaan mainita. Eri teorioiden mukaiset kaavat kuitenkin tuodaan esille ja on huolestuttavaa, jos oppilaat eivät ymmärrä näiden kaavojen välistä yhteyttä. Tämä johtaa helposti hybridimalleihin tai uudemman, monimutkaisemman kaavan hylkäämiseen.

4.4 Neutraloitumisreaktio

Neljännessä kysymyksessä vastaajia pyydettiin kertomaan, mitä neutraloitumisreaktiossa heidän mielestään tapahtuu ja millainen on reaktion lopputuote. Kysymyksen tarkoituksena oli selvittää, ymmärtävätkö vastaajat neutraloitumisreaktion päätyvän neutraaliin lopputuotteeseen, kuten Schmidt (1991) oli tutkimuksessaan havainnut. Vastaukset on kerätty liitteeseen 6. Vastauksista etsittiin merkitysyksiköitä, joita luokiteltiin samankaltaisten kanssa kategorioiksi ja edelleen laajemmiksi kuvauskategorioiksi. Muo-

toutunut kuvauskategoriajärjestelmä on hierarkkinen ja se on esitetty kuvassa 4.3. Kuvauskategoriat on merkitty kuvaan katkoviivalla ja ne on numeroitu 1 - 4. Lihavoidut tekstit ovat kuvauskategorioiden nimiä ja lihavoimattomat tekstit niihin sisältyviä kategorioita, jotka ovat muodostuneet vastauksista löydetyistä merkitysyksiköistä. Koska kategoriat koostuvat vastauksista löydetyistä merkitysyksiköistä, ne eivät välttämättä ole tieteellisesti paikkansapitäviä.

Mitä neutraloitumisreaktiossa tapahtuu? Millainen on sen lopputuote?	
1. Vastaus perustettu mikrotasoon	$H^+ + OH^- \rightleftharpoons H_2O$ $H_3O^+ + OH^- \rightleftharpoons 2 H_2O$ Protoninsiirtoreaktio OH^- ja OH_3^+ ionien määrä tasoittuu
2. Vastaus perustettu Arrhenius-mallille	happo + emäs \rightarrow suola + vesi
3. Vastaus perustettu pH-arvoon	pH riippuu neutraloitavasta aineesta Lopputuote on neutraali, eli pH = 7 Neutraloinnissa pH-arvo lähestyy seitsemää
4. Vastaus perustettu ajatukselle happo + emäs = neutraali	Aine neutraloituu Happoa lisätään emäkseen tai toisin päin Happo ja emäs neutraloituvat

Kuva 4.3 Neljännen kysymyksen vastauksista määritetty kuvauskategoriajärjestelmä.

Luokittelun kriteeriksi on valittu se, mille vastaaja on vastauksensa perustanut. Kuvauskategoriajärjestelmä on hierarkkinen siten, että kuvauskategoria 1 on teoreettiselta sisällöltään hienostunein. Sen vastaukset tarkastelevat neutraloitumisreaktiota mikrotason ilmiönä. Toisen kuvauskategorian vastaukset perustuvat Arrheniuksen happo-emäsmallille. Tätä pidettiin hienostuneempaa ajattelutapana kuin kolmannen kuvauskategorian pH-arvoon perustuvia vastauksia. Neljännen kuvauskategorian vastaukset taas perustuvat sille yksinkertaiselle ajatukselle, että happoa ja emästä yhdistämällä saadaan neutraalia tuotetta, eikä vastausta ole perusteltu sen tarkemmin.

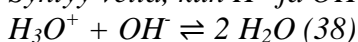
Vastaajista kuusi kappaletta jätti vastaamatta tähän kysymykseen, eli vastauksia kerättiin 54 vastaajalta. Taulukossa 4.3 on esitetty, kuinka merkitysyksiköt jakautuvat kuvauskategorioiden välille, kun otetaan huomioon vastaajien käymien kemian lukiokursien lukumäärä. Taulukon arvojen summaksi tulee 65, joka on vastauksista löydettyjen merkitysyksiköiden määrä.

Ensimmäisessä kuvauskategoriassa vastaukset perustuvat mikrotason tapahtumien tarkastelulle. Neljä vastaajaa mainitsee reaktion, jossa syntyy vettä joko H^+ ja OH^- tai H_3O^+ ja OH^- -ionien yhdistyessä. Nämä vastaukset muodostavat tämän kuvauskategorian ensimmäisen ja toisen kategorian. Vastauksen perässä hakasulkeissa oleva numero on vastaajan koodinnumero.

Taulukko 4.3 Neljännen kysymyksen merkitysyksiköiden jakautuminen kuvauskategori-
oissa.

	yksi lukiokurssi	useampi lukiokurssi
1. kuvauskategoria (mikrotaso)	1	8
2. kuvauskategoria (Arrhenius)	6	12
3. kuvauskategoria (pH-arvo)	8	8
4. kuvauskategoria (happo + emäs = neutraali)	12	10

Syntyy vettä, kun H^+ ja OH yhdistyy. (6)



Kolmanteen mikrotason kategoriaan luokiteltiin neljä vastaajaa, jotka ovat maininneet vastauksessaan Brønstedin teorian mukaisen protoninsiirtoreaktion.

Neutraloitumisessa happo luovuttaa H^+ emäkselle. (18)

Neutraloitumisreaktiossa happo luovuttaa protonin emäkselle, mistä johtuen liuos pysyy neutraalina. (27)

Neutraloitumisreaktiossa happo luovuttaa protonin ja emäs vastaanottaa sen. (48)

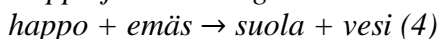
Edellisten lisäksi neljänteen kuvauskategoriaan luokiteltiin vastaus, jossa mainitaan, että neutraloinnissa OH^- ja OH_3^+ -ionien määrä tasoittuisi jonkin aineen lisäyksen seurauksena. Tämä on ensimmäisen kuvauskategorian neljäs kategoria.

Liuokseen lisätään jotain, mikä tasoittaa OH^- ja OH_3^+ ionien määrän. (46)

Ensimmäiseen, mikrotason huomioon ottavaan kuvauskategoriaan luokitellut merkitysyksiköt olivat harvassa; niitä oli vain yhdeksän kappaletta. Huomattavaa on, että vain yksi tämän kuvauskategorian vastauksista on yhden kemian kurssin käyneeltä vastaajalta. Onkin siis selvää, että useampi kemian lukiokurssi opettaa tarkastelemaan ilmiöitä mikrotasolla.

Toiseksi kuvauskategoriaksi määritettiin ne merkitysyksiköt, jotka perustuvat Arrheniuksen happo-emäsmallille. Vastauksissa sanottiin hapon ja emäksen reagoivan siten, että lopputuotteena on suolaa ja vettä. Näin vastanneita oli yhteensä 18 kappaletta, joista kaksi mainitsi erikseen, että reagoivien happojen ja emästen on oltava vahvoja, jotta reaktio toteutuisi. Arrheniuksen määritelmä pitää pintansa myös syventäviä kursseja valinneiden neutraloitumiskäsityksissä, sillä kuusi vastaajaa, eli 67 % tämän kuvauskategorian vastaajista oli käynyt kemian syventäviä kursseja.

Happo ja emäs reagoivat muodostaen suolaa ja vettä. (2)



Vahva happo ja vahva emäs reagoivat, jolloin syntyy suolaa ja vettä. (13)

Kolmanteen kuvauskategoriaan luokitellut merkitysyksiköt mainitsivat pH-arvon. Tässä kuvauskategoriassa painottuvat kysymyksen toisen osan vastaukset, sillä monet

perustivat lopputuotteen kuvailun pH-arvon tutkimiselle. Tämän kuvauskategorian ensimmäisessä kategoriassa ei pH-arvoa määritelty tarkemmin.

Hapon ja emäksen määrät tasaantuvat. pH riippuu neutraloitavasta aineesta (19)

pH-arvoltaan kaksi erilaista ainetta reagoivat keskenään ja pyrkivät saamaan yhden aineen, jolla on sama pH. (21)

Toisessa kategoriassa pH määriteltiin tarkemmin ja sille annettiin arvoksi 6-7. Osa mainitsi lopputuotteen pH:n olevan tasan 7 ja osa mainitsi sen olevan noin 7. Kaksi vastaajaa ei antanut lopputuotteen pH:lle numeroarvoa, vaan mainitsi sen vain olevan neutraali.

Lopputuote vesi. Tällöin pH-arvo on 6-7. (9)

Syntyy neutraalia ainetta, pH 7. (18)

Happaman tai emäksisen aineen pH muuttuu neutraaliksi ≈ 7 . (49)

pH-arvo laskee tai nousee emäksestä happamaan päin tai happamasta emäkseen päin, neutraali lopputuote. (55)

Viisi vastaajaa mainitsi lopputuotteen pH-arvon olevan lähempänä neutraalia verrattuna reaktion lähtöaineiden pH-arvoihin. Neljälle heistä tämä arvo oli 7, yhdelle se oli 6.

pH-arvo lähestyy 7. (8)

Happo ja emäs sekoittuvat ja niiden pH-arvot lähenevät kuutta. Lopputuotteena tulee ainakin vettä. (20)

Kolmanteen kuvauskategoriaan, jossa vastaus perustettiin pH-arvolle, luokiteltiin yhteensä 16 merkitysyksikköä. Kun vastaajat jaetaan niihin, jotka ovat lukiossa käyneet vain yhden pakollisen kemian kurssin ja niihin, jotka ovat valinneet syventäviä kursseja, jakautuvat tämän kuvauskategorian vastaukset tasaisesti molempien ryhmien välille. Huomattavaa on, että tässä kuvauskategoriassa neutraaliin lopputuotteeseen uskoo yhdeksän vastaajaa, joista vain kaksi on syventäviä kursseja valinneita. Tämän havainnon pohjalta voidaan sanoa, että kemian syventävät kurssit lisäävät ymmärrystä siitä, että neutralointi on etenevä prosessi, eikä välttämättä tuota neutraalia lopputuotetta.

Neljännessä kuvauskategoriassa vastaukset on perustettu sille yksinkertaiselle ajatukselle, jonka mukaan happo ja emästä yhdistämällä saadaan neutraalia ainetta. Ensimmäisessä tämän kuvauskategorian kategoriassa on vain todettu, että reaktiossa tapahtuu neutraloituminen ja aine neutraloituu.

Liuos neutralisoituu. (11)

Aineen emäksisyys tai hapokkuus katoaa. (35)

Aine hakeutuu sen neutraaliin olomuotoon. (44)

Toisen kategorian vastauksissa on keskitytty neutraloitumisen lähtökohtaan, eli hapon ja emäksen yhdistämiseen.

Happoa lisätään emäkseen tai toisin päin. (16)

Kuulostaa, että happo ja emäs kumoaa toisensa... (33)

Kolmannessa kategoriassa vastaukset mainitsevat vain, että happo ja emäs reagoivat muodostaen neutraalin lopputuotteen.

Happo ja emäs reagoivat keskenään saaden aikaan neutraalin tuotteen. (25)

On hapanta ja ei-hapanta → yhdistyvät → lopputuote on neutraalia (tai neutraalimpaa). (26)

Reaktiossa emäkset ja hapot neutralisoituvat. Lopputuote riippuu lähtöaineista. (37)

Tähän neljänteen kuvauskategoriaan luokiteltiin yhteensä 22 merkitysyksikköä. Näistä hieman yli puolet, 55 %, oli vastaajilta, jotka ovat käyneet lukiossa vain pakollisen kemian kurssin. Tämän kuvauskategorian vastaukset osoittavat hyvin naiivin ajattelumallin neutraloitumisesta ja useamman lukion kemian kurssin käyneiden suuri määrä tässä kategoriassa kummastuttaa. Yhtenä selityksenä tälle on, että kaikki useamman kurssin käyneet eivät välttämättä ole käyneet syventävää kurssia 5, jolla happoja ja emäksiä on käsitelty tarkemmin.

Neljänteen kysymykseen vastasi yhteensä 54 vastaajaa. Heistä 30 mainitsi, että tuote on neutraalia tai että happo ja emäs neutraloivat toisensa täysin reaktiossa. Tämä on linjassa Schmidtin (1991) tutkimuksen kanssa, jossa hän havaitsi, että suurelle osalle oppilaista neutralointireaktio tarkoittaa neutraalia lopputuotetta. Tämän kysymyksen suhteen näkyi selkeä ero yhden lukion kemian kurssin ja syventäviä kursseja käyneiden välillä. Niistä 30 vastaajasta, jotka mainitsivat tuotteen olevan neutraalia, alle puolet eli 12 kappaletta oli käynyt lukion syventäviä kursseja. Lisäksi kymmenen vastaajaa mainitsi erikseen, että reaktion tuote ei välttämättä ole neutraalia. Heistä yhdeksän oli käynyt syventäviä kursseja. Näiden tulosten valossa voidaankin sanoa, että kemian syventävät kurssit tuovat ymmärrystä neutraloitumisreaktion prosessiluonteesta.

4.5 Konjugaattiparit

Viidennessä kysymyksessä vastaajia pyydettiin merkitsemään annettuihin reaktioyhtälöihin niissä olevat konjugaattiparit. Kysymyksen tarkoituksena oli tutkia, kuinka hyvin kohderyhmä ymmärtää konjugaattiparien käsitteen. Kysymys osoittautui kohderyhmälle vaikeaksi, sillä 60 vastaajasta 27 vastaajaa jätti vastaamatta kysymykseen. Useat heistä osoittivat hämmennyksensä sanaa "konjugaatti" kohtaan. On mahdollista, että useammat olisivat vastanneet kysymykseen, mikäli kysymyksessä olisi kysytty vastinhappoja ja -emäksiä konjugaattiparien asemesta. Niistä 27 vastaajasta, jotka eivät vastanneet kysymykseen, suurin osa, eli 18 vastaajaa, oli käynyt vain yhden kurssin. Vastaukset on kerätty liitteeseen 7. Lisäksi yksi vain pakollisen kurssin käynyt vastaaja palautti vastauksen, jota ei osattu tulkita sen epämääräisyyden vuoksi. Tämä vastaus luokiteltiin tyhjäksi.

Vastaukset luokiteltiin ja jaettiin kuvauskategorioihin niiden oikeellisuuden perusteella. Tätä luokittelutapaa pyrittiin välttämään, sillä fenomenografiselle tutkimukselle on irrelevanttia, onko käsitys linjassa nykyisen tieteellisen tiedon kanssa vai ei. Kysymyksen luonteen perusteella luokittelu oikeellisuuden mukaan nähtiin kuitenkin parhaana valintana, sillä laajempaa luokittelua oli vaikea tehdä muuten. Vastauksista puolet, eli 16 kappaletta, oli oikein ja lopuista ei löytynyt sellaisia laajempia ajatuksellisia kokonaisuuksia, joiden mukaan vastauksia olisi voinut luokitella. Näin ollen päädyttiin luokitteluun vastauksen oikeellisuuden perusteella. Kuvauskategoriajärjestelmän kategorioista näkyy kuitenkin käsitysten laajuus, joka on fenomenografisen tutkimuksen tavoite.

Ensimmäiseen kuvauskategoriaan pääsivät täysin oikeat vastaukset ja toiseen ne vastaukset, jotka ovat lähes oikein. Kolmannen kuvauskategorian vastauksissa osa konjugaattipareista on merkitty oikein ja osa ei. Neljäs kuvauskategoria pitää sisällään täysin väärät vastaukset. Muodostettu kuvauskategorijärjestelmä on hierarkkinen siten, että kuvauskategoria 1 on tieteellisesti paikkansapitävin. Kuvauskategoriat ja niiden sisältämät käsitekategoriat on esitetty kuvassa 4.4. Kuvauskategoriat on merkitty kuvaan katkoviivalla ja ne on numeroitu 1 - 4. Lihavoidut tekstit ovat kuvauskategorioiden nimiä ja lihavoimattomat tekstit niihin sisältyviä kategorioita.

Merkitse happo-emäsreaktioyhtälöistä konjugaattiparit.	
1. Vastaus on oikein	
2. Vastaus on lähes oikein	Yhtälöihin merkitty vain toiset konjugaattiparit Vesi-oksonium –pari on jätetty merkitsemättä
3. Vastauksesta osa on oikein ja osa väärin	Reaktioyhtälön kummaltakin puolelta valittu ensimmäiset keskenään ja toiset keskenään Ei logiikkaa
4. Vastaus on väärin	Happo-happoparit tai emäs-emäsparit Ei logiikkaa Kysymystä ei ole ymmärretty

Kuva 4.4 Viidennen kysymyksen vastauksista määritetty kuvauskategorijärjestelmä.

Taulukossa 4.4 on esitetty, kuinka merkitysyksiköt jakautuvat kuvauskategorioiden välille, kun otetaan huomioon vastaajien käymien kemian lukiokurssien lukumäärä. Käsittelyn luonteesta johtuen jokaisesta vastauksesta määritettiin vain yksi merkitysyksikkö, joten taulukon 4.4 arvojen summaksi tulee 32, joka on kysymyksen vastanneiden määrä.

Taulukko 4.4 Viidennen kysymyksen merkitysyksiköiden jakautuminen kuvauskategorioissa.

	yksi lukiokurssi	useampi lukiokurssi
1. kuvauskategoria (oikein)	5	11
2. kuvauskategoria (lähes oikein)	3	3
3. kuvauskategoria (osa oikein, osa väärin)	2	0
4. kuvauskategoria (väärin)	1	7

Ensimmäisen kuvauskategorian vastaukset ovat täysin oikein merkittyjä. Näitä vastauksia kertyi 16 kappaletta, joista viisi oli vastaajilta, jotka ovat käyneet lukiossa vain pakollisen kemian kurssin.

- a) $\underline{NH_3} + \underline{HCO_3^-} \rightleftharpoons \underline{NH_4^+} + \underline{CO_3^{2-}}$
 b) $\underline{CH_3COOH} + \underline{H_2O} \rightleftharpoons \underline{H_3O^+} + \underline{CH_3COO^-}$
 c) $\underline{NH_3} + \underline{HSO_4^-} \rightleftharpoons \underline{SO_4^{2-}} + \underline{NH_4^+}$

Toiseen kuvauskategoriaan luokiteltiin vastaukset, jotka olivat lähes oikein. Näitä oli neljä kappaletta. Vastaukset jakautuivat tasaisesti yhden lukion kemian kurssin ja useamman kurssin käyneiden vastaajien välille. Ensimmäisenä kategoriana ovat ne vastaukset, joihin merkittiin konjugaattipareista vain toiset. Yhdessä vastauksessa merkitään laajennettiin osoittamaan se protoni, jonka happo emäkselle luovuttaa. Vastauksen perässä hakasulkeissa oleva numero on vastaajan koodinnumero.

- a) $\underline{NH_3} + \underline{HCO_3^-} \rightleftharpoons \underline{NH_4^+} + \underline{CO_3^{2-}}$ [31]
 b) $\underline{CH_3COOH} + \underline{H_2O} \rightleftharpoons \underline{H_3O^+} + \underline{CH_3COO^-}$
 c) $\underline{NH_3} + \underline{HSO_4^-} \rightleftharpoons \underline{SO_4^{2-}} + \underline{NH_4^+}$

- a) $\underline{NH_3} + \underline{HCO_3^-} \rightleftharpoons \underline{NH_4^+} + \underline{CO_3^{2-}}$ [46]
 b) $\underline{CH_3COOH} + \underline{H_2O} \rightleftharpoons \underline{H_3O^+} + \underline{CH_3COO^-}$
 c) $\underline{NH_3} + \underline{HSO_4^-} \rightleftharpoons \underline{SO_4^{2-}} + \underline{NH_4^+}$

- a) $\underline{NH_3} + \underline{HCO_3^-} \rightleftharpoons \underline{NH_4^+} + \underline{CO_3^{2-}}$ [55]
 b) $\underline{CH_3COOH} + \underline{H_2O} \rightleftharpoons \underline{H_3O^+} + \underline{CH_3COO^-}$
 c) $\underline{NH_3} + \underline{HSO_4^-} \rightleftharpoons \underline{SO_4^{2-}} + \underline{NH_4^+}$

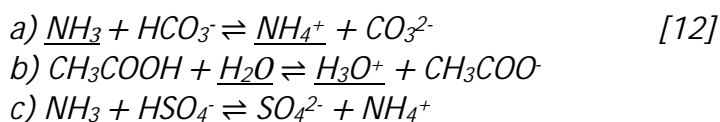
Yksi tämän kuvauskategorian vastauksista oli muuten oikein, mutta vastaaja jätti merkitsemättä yhtälöstä b) veden ja oksoniumionin muodostaman konjugaattiparin. Tämä vastaus luokiteltiin omaksi kategoriakseen.

- a) $\underline{NH_3} + \underline{HCO_3^-} \rightleftharpoons \underline{NH_4^+} + \underline{CO_3^{2-}}$ [43]
 b) $\underline{CH_3COOH} + \underline{H_2O} \rightleftharpoons \underline{H_3O^+} + \underline{CH_3COO^-}$
 c) $\underline{NH_3} + \underline{HSO_4^-} \rightleftharpoons \underline{SO_4^{2-}} + \underline{NH_4^+}$

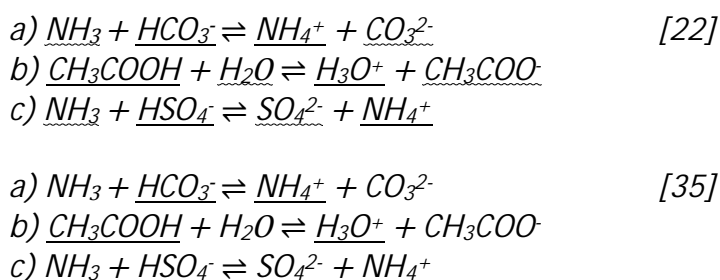
Kolmanteen kuvauskategoriaan luokiteltiin ne vastaukset, joissa osaan yhtälöistä oli merkitty konjugaattiparit oikein ja osaan väärin. Näitä vastauksia oli kaksi kappaletta ja molemmat tähän kuvauskategoriaan luokitellut vastaajat olivat käyneet useamman kuin yhden kurssin lukion kemiaa. Ensimmäisessä tämän kuvauskategorian vastauksista vastaaja oli systemaattisesti merkinnyt reaktioyhtälön molemmilta puolilta ensimmäiset aineet keskenään ja toiset aineet keskenään pareiksi. Näin tehden yhtälö a) on merkitty oikein ja yhtälöt b) ja c) väärin.

- a) $\underline{NH_3} + \underline{HCO_3^-} \rightleftharpoons \underline{NH_4^+} + \underline{CO_3^{2-}}$ [16]
 b) $\underline{CH_3COOH} + \underline{H_2O} \rightleftharpoons \underline{H_3O^+} + \underline{CH_3COO^-}$
 c) $\underline{NH_3} + \underline{HSO_4^-} \rightleftharpoons \underline{SO_4^{2-}} + \underline{NH_4^+}$

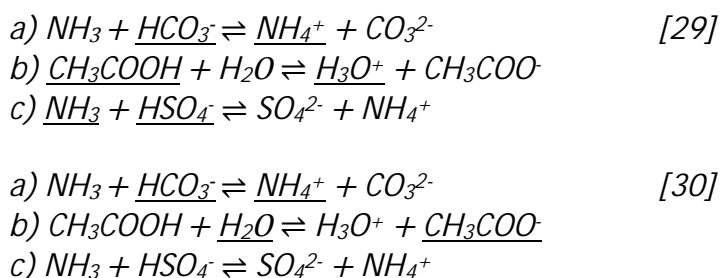
Toisessa tämän kuvauskategorian vastauksista ei ole nähtävissä selkeää logiikkaa, jolle vastaaja olisi vastauksensa perustanut. Kahdessa yhtälöistä toinen konjugaattipareista on kuitenkin merkitty oikein, vaikka vastaaja onkin merkinnyt vain yhden konjugaattiparin yhtälöä kohden.



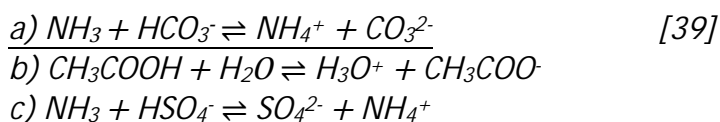
Neljannen kuvauskategorian vastaukset ovat täysin väärin. Tähän kuvauskategoriaan luokiteltiin viisi vastaajaa. Vain yksi tähän kuvauskategoriaan luokitelluista vastaajista oli käynyt ainoastaan lukion pakollisen kemian kurssin. Ensimmäisen kategorian vastauksissa konjugaattiparien asemesta vastauksiin on merkitty joko happo-happoparit ja emäs-emäsparit tai ainoastaan happo-happoparit. Niiden kohdalla, jotka valitsivat vain happo-happoparit, voi olla kyse Schmidtin (1995) mainitsemasta virhekäsityksestä. Hän huomasi tutkimuksessaan, että opiskelijat valitsivat konjugaattipareiksi ionit, joiden varaukset olivat yhtä suuret mutta vastakkaismerkkiset.



Kahdessa tähän kuvauskategoriaan luokitelluista vastauksista ei ollut nähtävissä mitään selkeää logiikkaa, jonka mukaan vastaaja olisi valintansa tehnyt. Tämän lisäksi molemmat vastaajat olivat merkinneet vain yhdet parit kuhunkin yhtälöön.



Edellisten lisäksi kahdessa vastauksessa ei ymmärretty kysymystä, sillä vastaajat olivat vastauksenaan merkinneet kolmesta yhtälöstä kokonaisuudessaan kaksi.



Vastauksista huomattiin, että sana "konjugaatti" aiheutti hankaluuksia vastaajille. Huomattavaa on, että myös yksi oikein vastanneista mainitsi, ettei tiennyt, mitä termi "konjugaattipari" tarkoittaa. Toinen oikein vastannut vastaaja kirjoitti vastauksensa vieheen vastauksen olevan pelkkä arvaus, jonka hän oli päätellyt yhdistämällä pareiksi ne aineet, joissa on samoja alkuaineita. Vaikeudet ovat ymmärrettäviä yhden kemian kurssin käyneillä vastaajilla, sillä kemian pakollisen kurssin oppikirjassa ei vielä mainita konjugaattipareja. Ne tulevat esille vasta happoja ja emäksiä käsittelevällä syventävällä kurssilla 5. Myös suuri osa useamman lukiokurssin käyneistä vastasi kysymykseen vää-

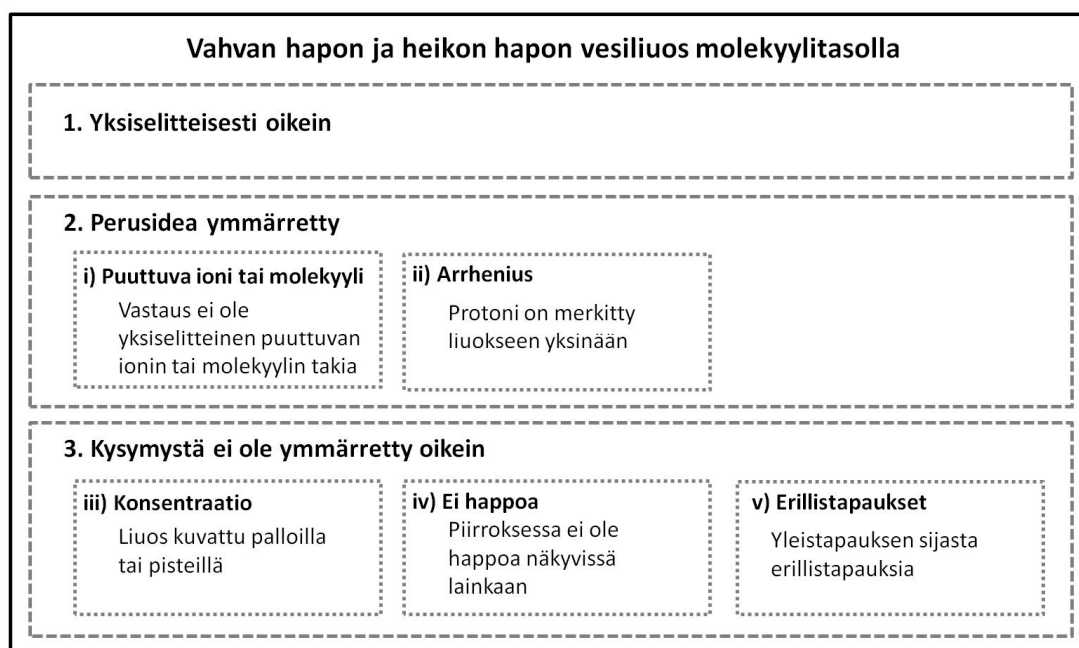
rin. Tämä voi olla selitettävissä sillä, että he eivät välttämättä ole käyneet kurssia, jolla käsitellään happoja ja emäksiä.

4.6 Happo mikrotasolla

Kuudennessa kysymyksessä vastaajia pyydettiin piirtämään, miltä a) vahvan hapon vesiliuos, b) heikon hapon vesiliuos, c) vahvan hapon väkevä vesiliuos ja d) vahvan hapon laimea vesiliuos näyttävät molekyylitasolla. Kysymyksen tarkoituksena oli tutkia, kuinka testiryhmä ymmärtää mikrotason eroja kysytyissä tapauksissa. Kysymysten esitystavan oletettiin olevan vastaajille tuttu oppikirjoista. Vastauksia käsiteltiin kahtena parina, joista ensimmäisenä parina on vahva ja heikko happo ja toisena parina vahvan hapon väkevä ja heikko vesiliuos. Tehtävä osoittautui vastaajille haasteelliseksi, sillä monet jättivät kokonaan vastaamatta. Ensimmäiseen pariin vastasi vain 22 vastaajaa ja toiseen pariin 19 vastaajaa. Kun otetaan huomioon vastaajien lukiossa käymien kemian kurssien määrä, huomataan, että vain harvat yhden kurssin käyneistä vastaajista yrittivät vastata kysymykseen. Ensimmäiseen pariin vastanneista yhden kurssin käyneitä on vain viisi kappaletta ja toiseen pariin vastanneista heitä on neljä.

4.6.1 Vahva ja heikko happo

Ensimmäisen parin piirrokset käytiin lävitse ja niistä etsittiin yhteneväisyyksiä, joiden mukaan ne jaoteltiin kategorioihin. Löydetyistä kategorioista muodotui kolme kuvauskategoriaa, joista toiseen ja kolmanteen muodostettiin myös käsitekategorioita. Tämä hierarkkinen kuvauskategoriajärjestelmä on esitetty kuvassa 4.5. Kuvauskategoriat on merkitty kuvaan katkoviivalla ja ne on numeroitu 1 - 3. Kuvauskategoria 2 sisältää kaksi käsitekategoriaa ja kuvauskategoria 3 sisältää kolme käsitekategoriaa. Nämä on merkitty kuvaan pisteviivalla ja ne on numeroitu i) - v). Lihavoidut tekstit ovat kuvauskategorioiden ja käsitekategorioiden nimiä ja lihavoimattomat tekstit niihin sisältyviä kategorioita, joka ovat muodostuneet vastauksista löydetyistä merkityksyksiköistä.



Kuva 4.5 Kuudennessa kysymyksen ensimmäisen parin vastauksista määritetty kuvauskategoriajärjestelmä.

Kategorisoinnissa pyrittiin välttämään luokittelua oikeellisuuden perusteella, sillä fenomenografia ei ole siitä varsinaisesti kiinnostunut. Tähän valintaan kuitenkin päädyttiin, sillä vastauksista ei onnistuttu löytämään sellaisia laajempia ajatuksellisia kokonaisuuksia, joiden mukaan vastauksia olisi voinut luokitella. Kuvauskategorijärjestelmän kategorioista näkyy kuitenkin käsitysten laajuus, joka on fenomenografisen tutkimuksen tavoite, joten valinta nähtiin hyväksyttävänä.

Ensimmäisen kuvauskategorian muodostavat ne vastaukset, jotka ovat yksiselitteisesti oikein. Toisena kuvauskategoriana ovat vastaukset, jotka ovat lähes oikein. Näissä vastauksissa on ymmärretty kysymyksen perusidea, eli hapon erilainen protolysoituminen riippuen siitä, onko se vahva vai heikko happo. Tämän kuvauskategorian ensimmäisessä käsitekategoriasa vastauksista puuttuu jokin ioni tai molekyyli, joka tekisi vastauksesta yksiselitteisen. Toisessa käsitekategoriasa happo taas on ajateltu Arrheniuksen mallin mukaan aineena, joka luovuttaa protonin ja protoni on piirretty vastaukseen yksinään oksoniumionin sijasta. Kolmannen kuvauskategorian muodostavat vastaukset, joissa kysymystä ei ole ymmärretty oikein. Ensimmäisenä käsitekategoriana tässä kuvauskategoriasa ovat ne vastaukset, joissa vastaus on ajateltu konsentraationa ja kuvattu pisteinä ja palloina. Toisen käsitekategorian vastauksissa ei ole happoa näkyvissä ollenkaan. Kolmannen käsitekategorian vastauksissa on keskitytty erillistapauksiin yleistäpauksen sijasta.

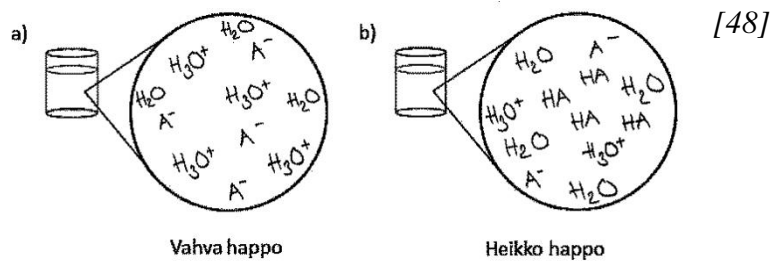
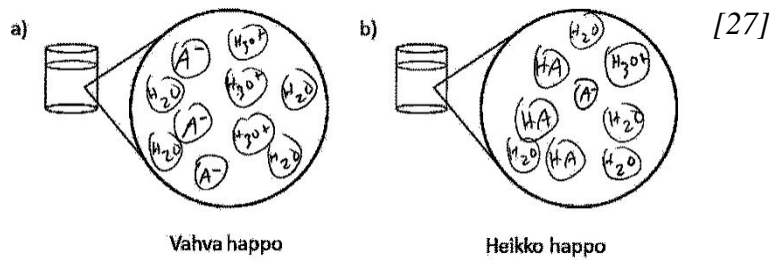
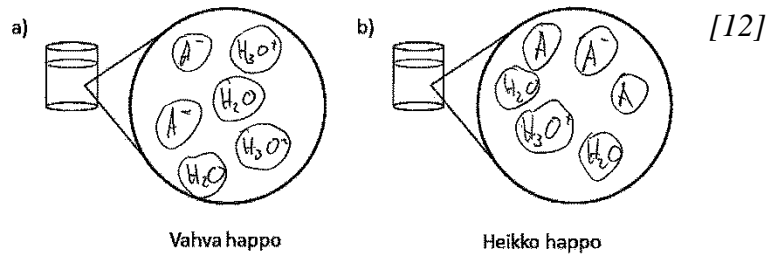
Taulukossa 4.5 on esitetty, kuinka vastaukset jakautuvat kuvauskategorioiden välille, kun otetaan huomioon vastaajien lukiossa käymien kemian kurssien lukumäärä. Taulukon arvojen summaksi tulee 22, joka on kysymykseen vastanneiden vastaajien määrä.

Taulukko 4.5 Kuudennen kysymyksen ensimmäisen parin vastausten jakautuminen kuvauskategorioissa.

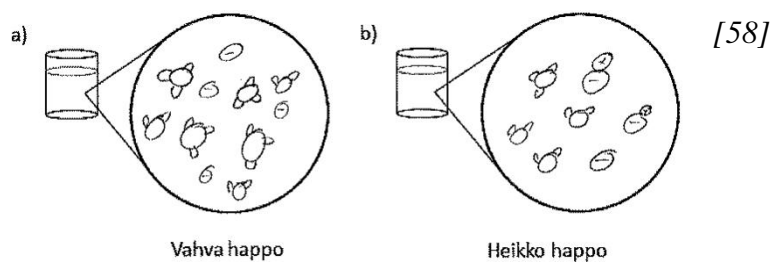
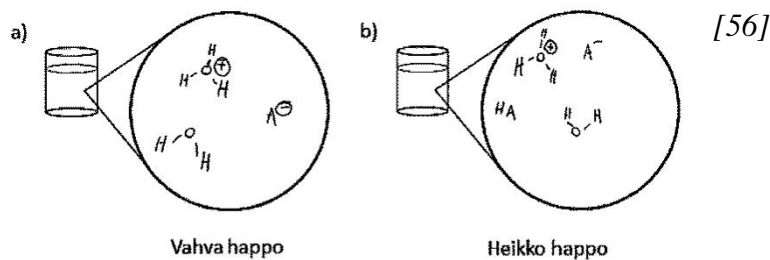
	yksi lukiokurssi	useampi lukiokurssi
1. kuvauskategoria (oikein)	1	4
2. kuvauskategoria (perusidea oikein)	1	5
3. kuvauskategoria (väärin)	3	8

Ensimmäiseen kuvauskategoriaan luokiteltiin viisi vastausta. Nämä vastaukset ovat yksiselitteisesti oikein, vaikka ne eroavatkin merkitsemistavoiltaan. Kriteerinä tähän kategoriaan luokittelulle pidettiin sitä, että vahvan hapon kuvassa on näkyvissä vain ja ainoastaan protolysoitunut happo, oksoniumioni ja vesimolekyyli. Vastaavasti heikon hapon kuvassa on oltava sekä protolysoitunut että protolysoitumaton happo, oksoniumioni ja vesimolekyyli.

Vastauksista kolme käytti tuttua merkitsemistapaa, vaikka yhdessä vastauksessa protolysoitumaton happo on merkitty A:na yleisesti käytetyn HA:n sijasta. Vastaajien koodinumerot on merkitty hakasulkeisiin vastausten perään.

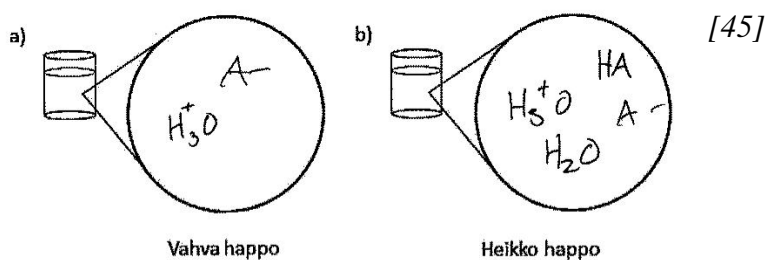
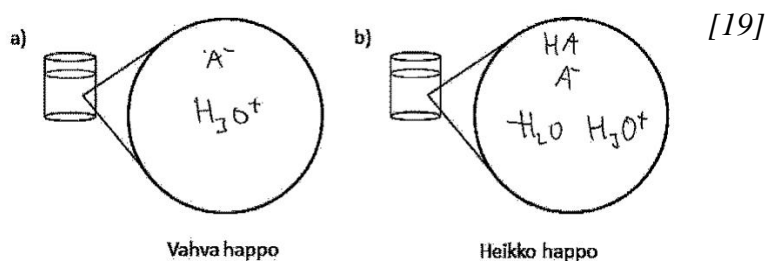
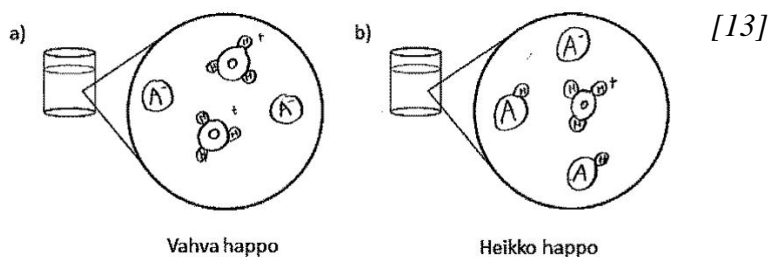


Kaksi ensimmäisen kuvauskategorian vastausta korosti partikkeleiden muotoa. Yksi vastaaja merkitsi partikkelit rakennekaavoin, kun taas toinen vastaaja piirsi partikkeleita kuvaavia palloja. Näitä palloja ei ole nimetty, mutta ne on tulkittavissa siten, että vastaus voidaan luokitella tähän kuvauskategoriaan.

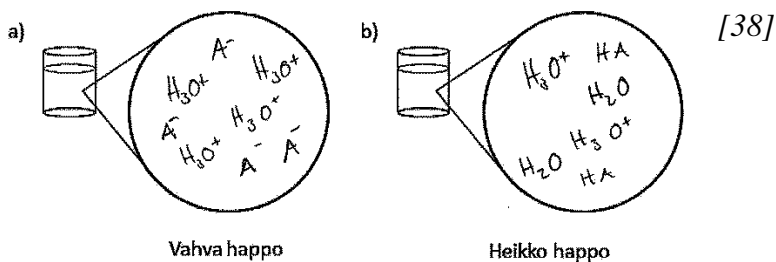


Toinen kuvauskategoria koostuu vastauksista, jotka ovat lähes oikein. Ensimmäisessä tämän kuvauskategorian käsitekategoriasa vastauksista on jäänyt uupumaan yksi

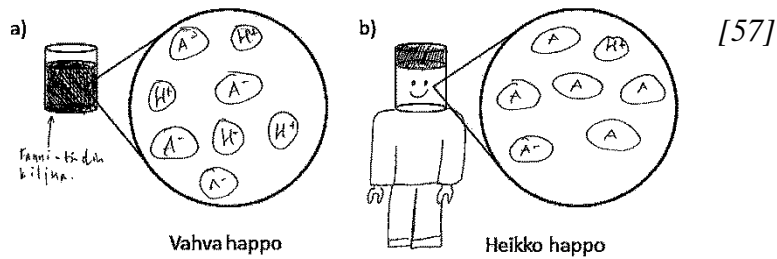
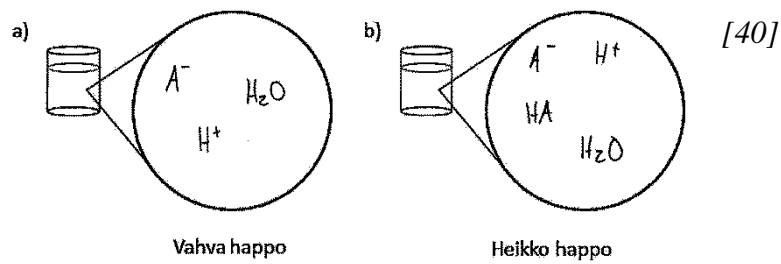
molekyyli tai ioni, jonka myötä vastaus olisi yksiselitteinen. Kolmessa tapauksista puuttuva partikkeli on vesimolekyyli. Yhdessä vastauksessa se puuttuu vastauksen molemmilta puolilta ja kahdessa vastauksessa vain vahvan hapon puolelta.



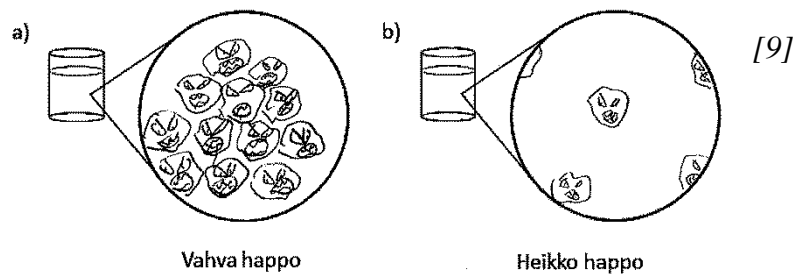
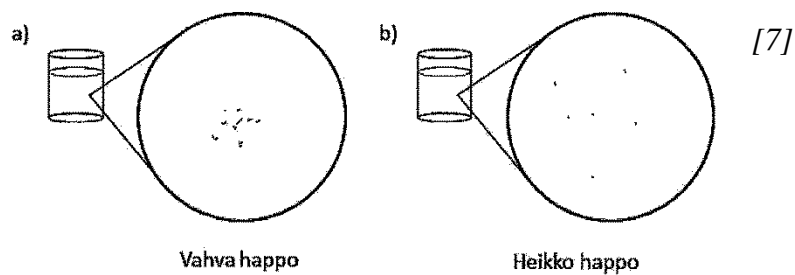
Yhdessä tämän käsitekategorian vastauksissa on ymmärretty, että vahva happo protolysoituu täysin, toisin kuin heikko happo. Vastauksessa kuitenkin puuttuu heikon hapon puolelta protolysoitunut happo.

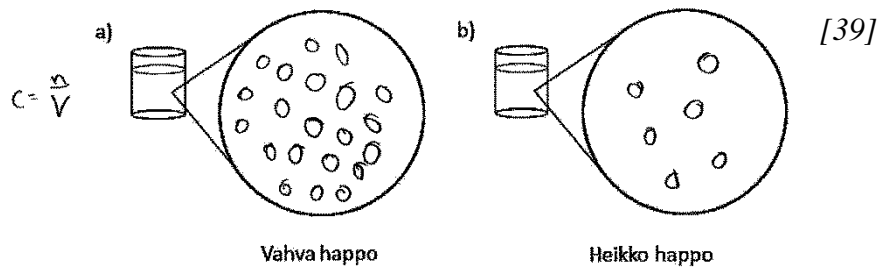
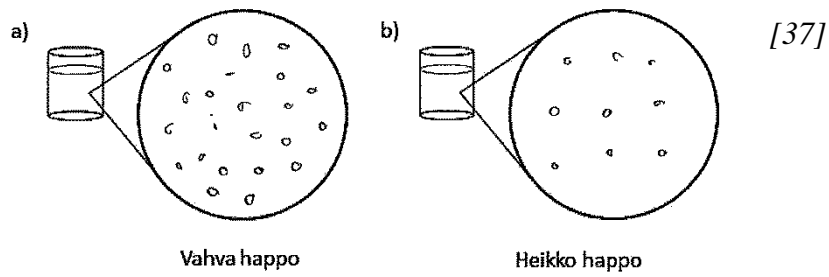
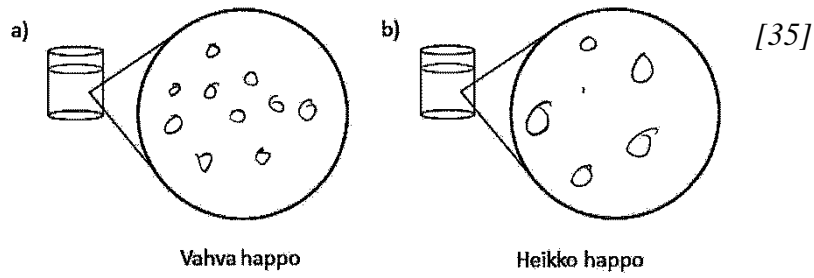


Tämän kuvauskategorian toisessa käsitekategoriassa on ne vastaukset, joissa on ymmärretty hapon erilainen protolysoituminen, mutta protoni on merkitty liuokseen yksinään. Vesiliuoksessa protoni ei ole koskaan yksinään, vaan se reagoi veden kanssa oksoniumioniksi.

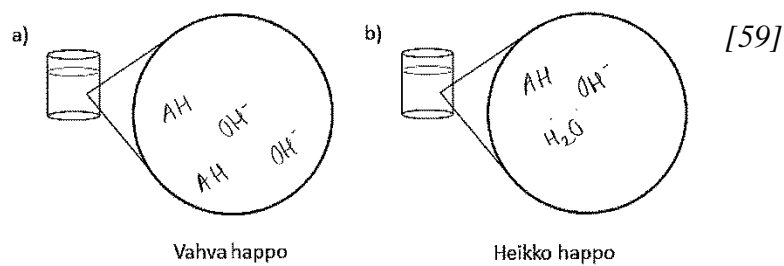
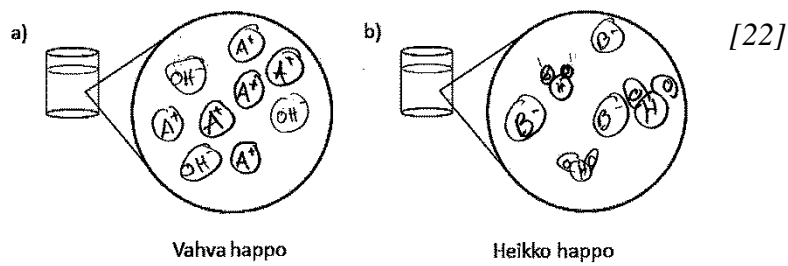


Kolmanteen kuvauskategoriaan on luokiteltu vastaukset, joissa kysymysten ymmärtäminen on puutteellista. Tämän kuvauskategorian ensimmäisessä käsitekategoriasa vastaukset on ajateltu konsentraation erona ja ionien ja molekyylien sijasta molekyyllitaso on ymmärretty palloiksi ja pisteiksi. Näille vastauksille yhteistä on vahvan hapon kuvaaminen useammalla ja tiheämpään sijoitetulla pallolla tai pisteellä verrattuna heikkoon happoon. On selvää, että termejä ei ole ymmärretty oikein, vaan niiden on ajateltu olevan yhteydessä konsentraatioon. Yhden vastauksen viereen onkin kirjoitettu konsentraation kaava.

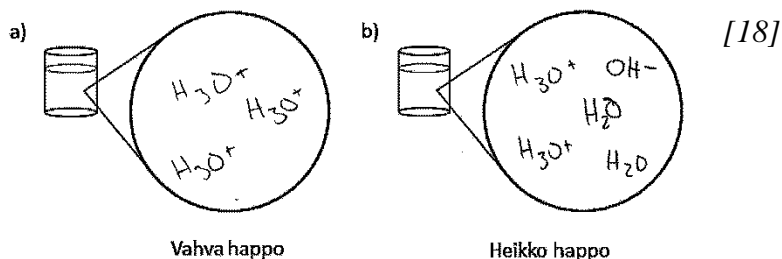




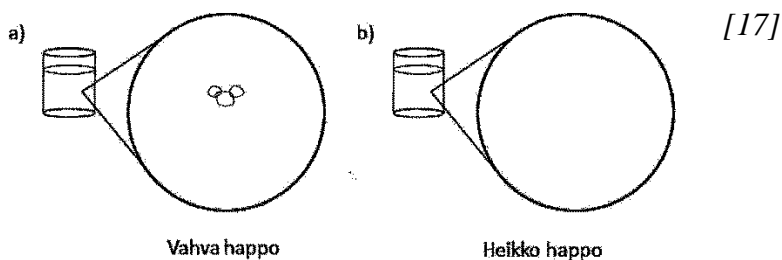
Toiseen käsitekategoriaan on luokiteltu vastaukset, joissa ei ole näkyvissä happoa lainkaan. Kahdessa tämän käsitekategorian vastauksessa happo on sekoitettu emäkseen. Vahva emäs onkin piirretty oikein, mutta heikon tapauksessa tietämys on molemmissa vajavaista.



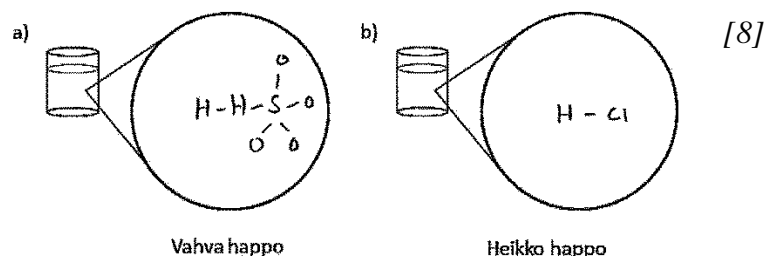
Yhdessä toisen käsitteikategorian vastauksista on näkyvissä vain oksonium- ja hydroksidi-ioneita sekä vesimolekyyliä. Vastauksesta on siis jäänyt happo kokonaan puuttumaan. Heikon hapon vastauksen kohdalla voidaan miettiä, onko vastaaja ajatellut veden autoprotolyysiä vastatessaan kysymykseen.

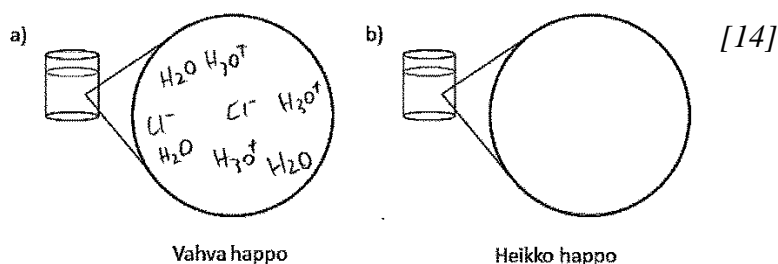


Edellisten lisäksi toiseen käsitteikategoriaan on luokiteltu vastaus, jossa osoitetaan hämmennys termiä "molekyyli" kohtaan. Vastaaja on alleviivannut kyseisen sanan tehtävänannosta ja piirtänyt kysymysmerkin sen viereen. Tässä vastauksessa heikon hapon kohta on jätetty tyhjäksi ja vahvaan happoon on piirretty vain vesimolekyyliksi tulkittavissa oleva piirros.



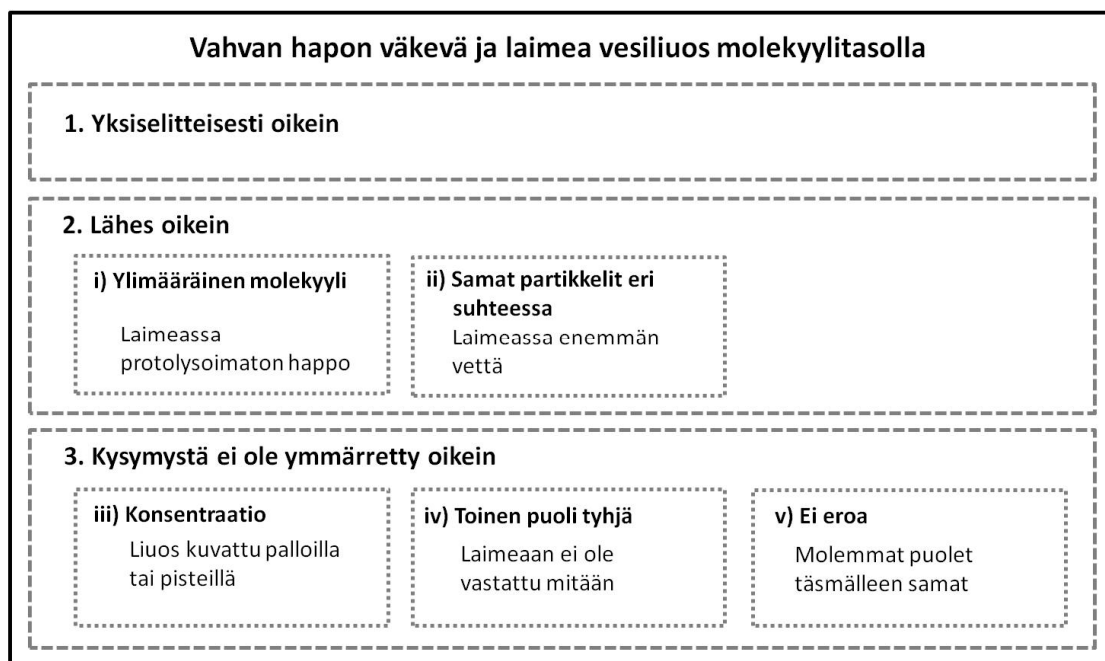
Kolmannen kuvauskategorian viimeiseen, kolmanteen käsitteikategoriaan on luokiteltu vastaukset, jotka eivät esittele yleistapausta lainkaan. Toisessa vastauksessa vahvan hapon kohtaan on piirretty rikkihapon rakennekaavaa jäljittelevä kaava ja heikon hapon kohtaan suolahapon vastaava, vaikka suolahappo ei ole heikko happo. Toisessa tämän kategorian vastauksessa taas vahvaan happoon on piirretty protolysoitunut suolahappo ja heikon hapon kohta on jätetty tyhjäksi. Ei voida sanoa, onko kysymykseen jätetty vastaamatta tiedon puutteen takia vai vain siksi, että vastaaja ei ole keksinyt esimerkkiä heikosta haposta.





4.6.2 Vahvan hapon väkevä ja laimea vesiliuos

Myös toisen parin piirrokset käytiin lävitse ja niistä etsittiin yhteneväisyyksiä, joiden pohjalta vastaukset jaoteltiin kategorioihin. Löydettyistä kategorioista muotoutui kolme kuvauskategoriaa, joista toiseen ja kolmanteen muodostettiin myös käsitekategorioita. Tämä kuvauskategoriajärjestelmä on esitetty kuvassa 4.6. Kuvauskategoriat on merkitty kuvaan katkoviivalla ja ne on numeroitu 1 - 3. Kuvauskategoria 2 sisältää kaksi käsitekategoriaa ja kuvauskategoria 3 sisältää kolme käsitekategoriaa. Nämä on merkitty kuvaan pisteviivalla ja ne on numeroitu i) - v). Lihavoidut tekstit ovat kuvauskategorioiden ja käsitekategorioiden nimiä ja lihavoimattomat tekstit niihin sisältyviä kategorioita, joka ovat muodostuneet vastauksista löydettyistä merkityksyksiköistä.



Kuva 4.6 Kuudennen kysymyksen toisen parin vastauksista määritetty kuvauskategoriajärjestelmä.

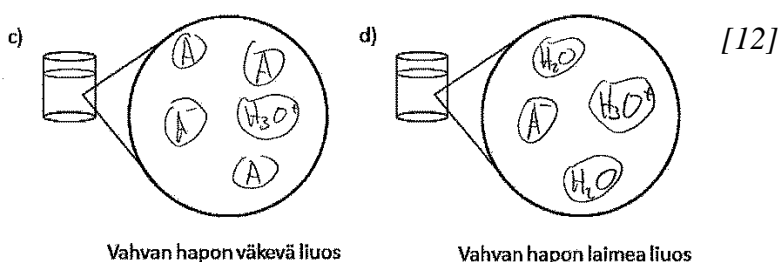
Myös tässä parissa päädyttiin kategorisointiin vastauksen oikeellisuuden perusteella, vaikka fenomenografia ei ole siitä varsinaisesti kiinnostunut. Tämä tehtiin siksi, että vastauksista ei onnistuttu löytämään sellaisia laajempia ajatuksellisia kokonaisuuksia, joiden mukaan vastauksia olisi voinut luokitella. Tämä valinta mahdollisti myös vertailun kuudennen kysymyksen ensimmäisen ja toisen parin välillä kuvauskategorioiden olessa samankaltaiset.

Ensimmäisen kuvauskategorian muodostavat ne vastaukset, jotka ovat yksiselitteisesti oikein. Toiseen kuvauskategoriaan on luokiteltu vastaukset, jotka ovat lähes oikein. Ensimmäisessä tämän kuvauskategorian käsitekategoriassa vastaukseen on eksynyt ylimääräinen molekyyli, joka tässä tapauksessa on protolysoimaton happo vahvan hapon laimean liuoksen kohdassa. Toisessa käsitekategoriassa on vastaukset, joissa ainoa ero väkevän ja laimean välillä on vesimolekyylien määrä happoon verrattuna. Kolmas kuvauskategoria pitää sisällään vastaukset, joissa kysymystä ei ole ymmärretty oikein. Tämä kuvauskategoria on jaettu kolmeen käsitekategoriiaan. Ensimmäisessä käsitekategoriassa on vastaukset, joissa vastaus on ymmärretty konsentraationa ja ilmaistu pistein ja palloin. Toisessa käsitekategoriassa vastauksen toinen puoli on jätetty kokonaan tyhjäksi. Kolmas käsitekategoria pitää sisällään vastauksen, jossa puolien välillä ei ole nähtävissä mitään eroa. Taulukossa 4.6 on esitetty, kuinka vastaukset jakautuvat kuvauskategorioiden välille, kun otetaan huomioon vastaajien lukiossa käymien kemian kurssien lukumäärä. Taulukon arvojen summaksi tulee 19, joka on kysymykseen vastanneiden vastaajien määrä.

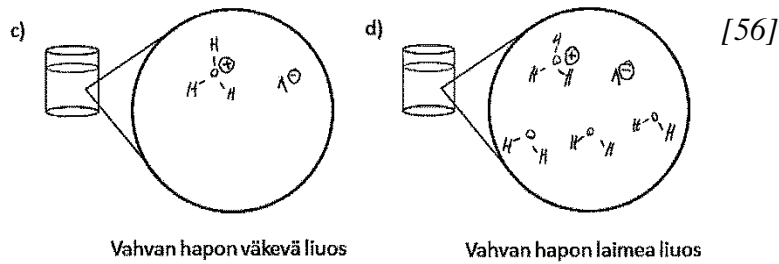
Taulukko 4.6 Kuudennen kysymyksen toisen parin vastausten jakautuminen kuvauskategorioissa.

	yksi lukiokurssi	useampi lukiokurssi
1. kuvauskategoria (oikein)	1	1
2. kuvauskategoria (lähes oikein)	1	6
3. kuvauskategoria (väärin)	2	8

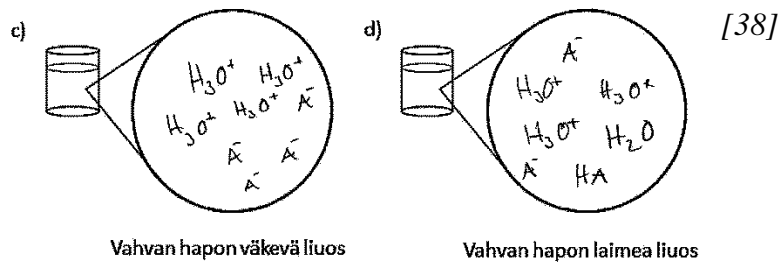
Ensimmäiseen kuvauskategoriaan luokiteltiin kaksi vastausta. Nämä vastaukset ovat yksiselitteisesti oikein, vaikka niiden merkitsemistavat poikkeavat toisistaan. Kriteerinä tähän kuvauskategoriaan luokittelulle pidettiin sitä, että väkevän liuoksen vastauksessa ei ole näkyvissä vesimolekyyliä. Näin ollen väkevä liuos on yksiselitteisesti väkevä, eikä vain väkevempi kuin laimeaksi merkitty. Ensimmäisessä tämän kuvauskategorian vastauksessa väkevään happoon on merkitty myös protolysoitumattomia happoja väkevyyden korostamiseksi.



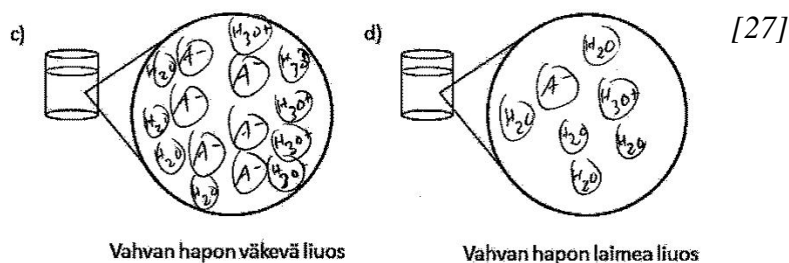
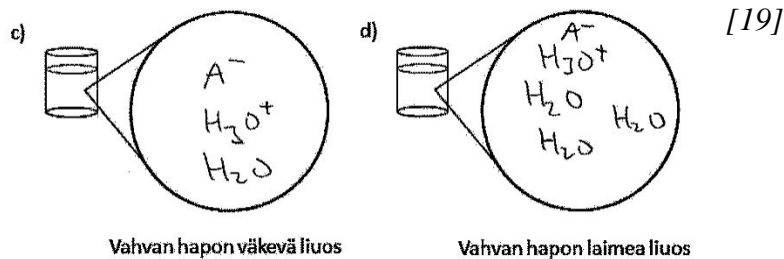
Toisessa ensimmäisen kuvauskategorian vastauksessa on painotettu partikkelien muotoa piirtämällä näkyviin niiden rakennekaavat.

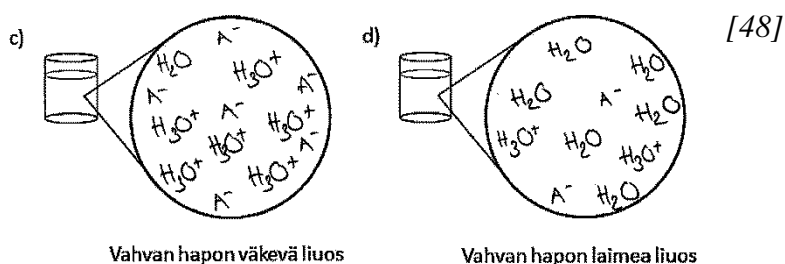
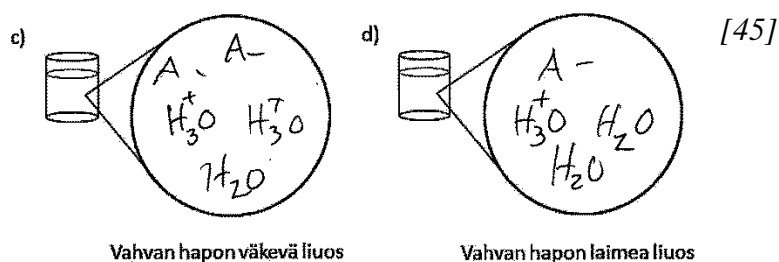


Toisen kuvauskategorian ensimmäinen käsitekategoria koostuu vastauksesta, joka olisi muuten oikein, mutta laimeaan liuokseen on lipsahtanut protolysoimaton happo. Vastauksesta ei voida sanoa, onko kyseessä ajatteluvirhe vai väärinymmärrys.

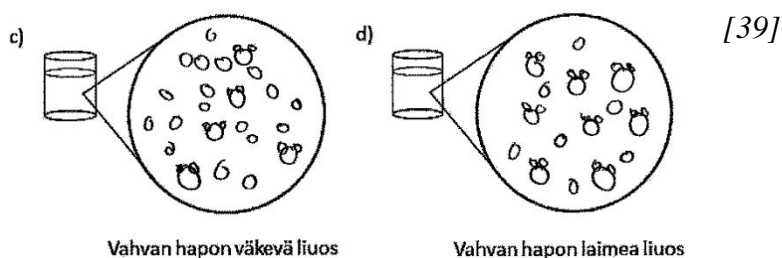


Tämän kuvauskategorian toiseen käsitekategoriaan on luokiteltu vastaukset, joissa ainoa ero väkevän ja laimean liuoksen välillä on useampi vesimolekyyli laimean puolella. Veden lisääminen tekee liuoksesta laimeamman, mutta väkevä liuos ei näissä tapauksissa ole yksiselitteisesti väkevä. Neljässä tämän kategorian vastauksessa on selkeästi näkyvissä samat ionit vastauksen molemmilla puolilla, sillä eroavaisuudella, että laimean liuoksen puolella vesimolekyyliä on suhteessa enemmän.

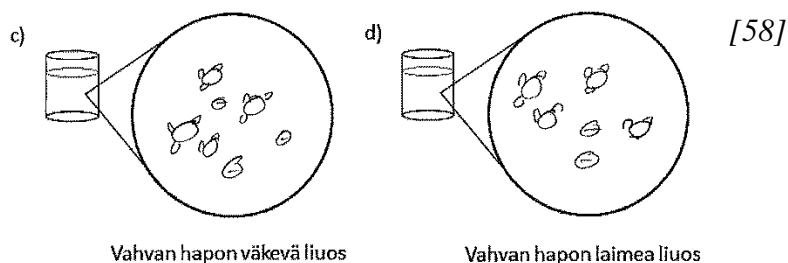




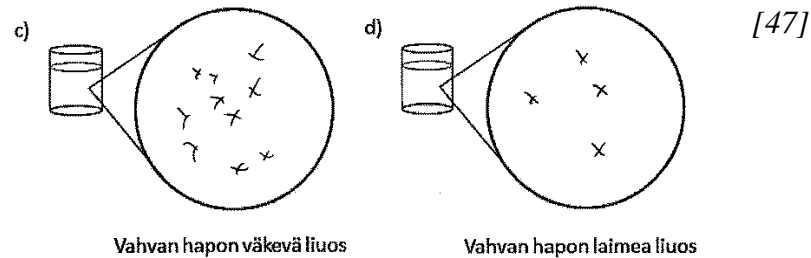
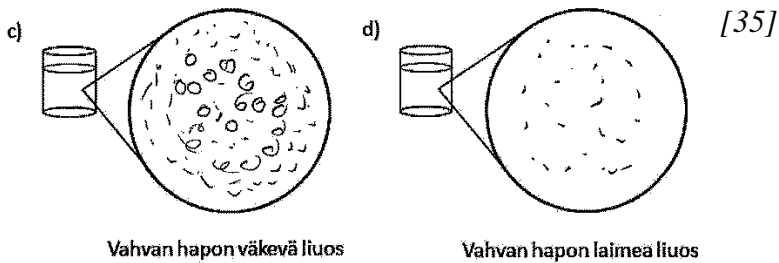
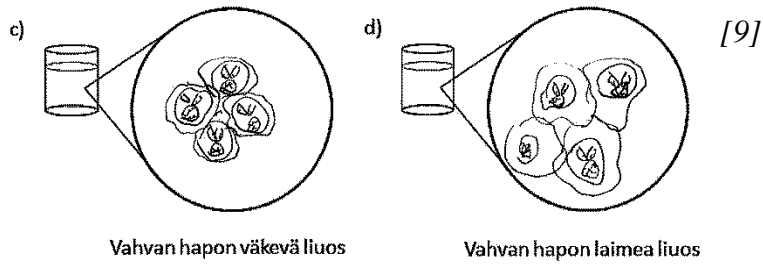
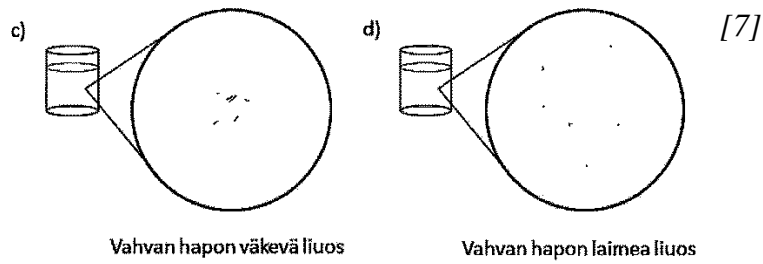
Kaksi tämän käsittekkategorian vastausta turvautui graafisempaan esitystapaan, mutta molemmat on tulkittavissa tähän kategoriaan sopiviksi. Ensimmäisessä vastauksessa on näkyvissä palloja ja vesimolekyyliä, joista pallot tulkittiin hapoksi. Piirroksista on nähtävissä, kuinka laimeassa liuoksessa on enemmän vettä.



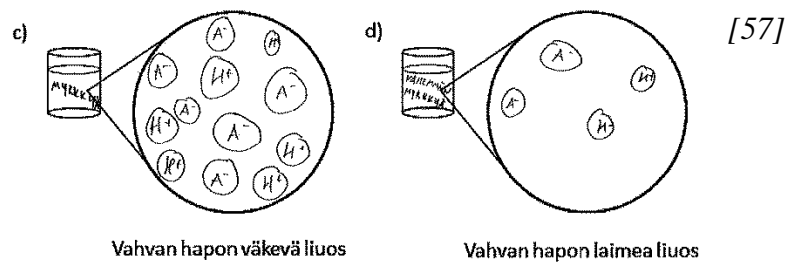
Toisessa vastauksessa on selkeämmin näkyvissä vesimolekyylit, oksoniumionit ja negatiivisella varauksella merkityt protolysoituneet hapot. Tässäkin piirroksessa on nähtävissä veden suhteellisen määrän lisääntyminen siirryttäessä väkevästä liuoksesta laimeaan.



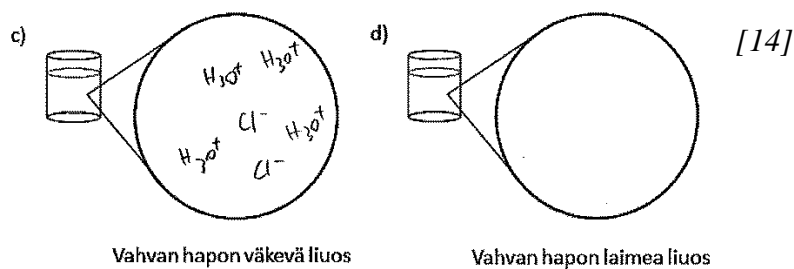
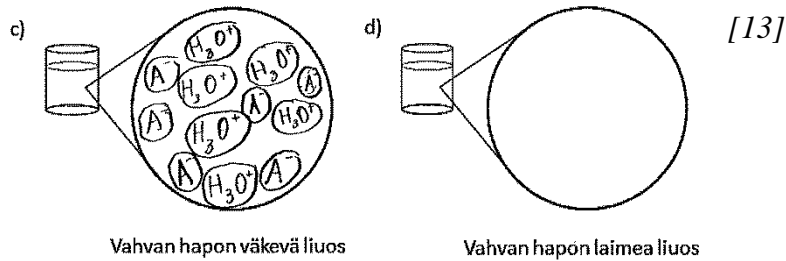
Kolmannessa kuvauskategoriassa ei kysymystä ole ymmärretty oikein. Samoin kun ensimmäisen parin kohdalla, myös toisessa parissa on vastauksia, joissa on ajateltu väkevän ja laimean liuoksen ero konsentraation kautta. Näissä vastauksissa vastaus on kuvattu palloilla ja pisteillä. Vastauksille on yhteistä se, että laimean liuoksen kuvissa pisteitä ja palloja on vähemmän ja ne eivät ole yhtä tiiviisti kuin väkevän liuoksen kuvissa.



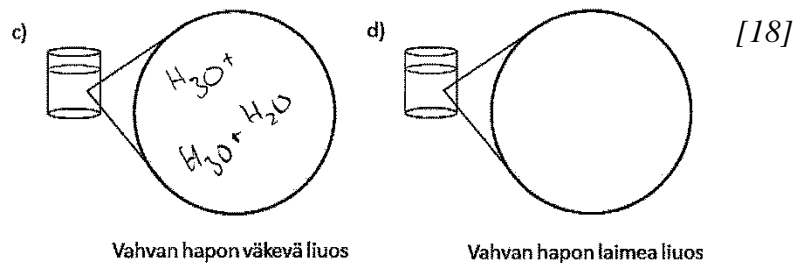
Tähän käsitteeseen luokiteltiin myös vastaus, johon on merkitty protolysoitunut happo ja siitä lähtenyt protoni. Vaikka ensi näkemältä vastaus näyttää erilaiselta kuin pelkät pallot tai pisteet, on tässä vastauksessa sama logiikka; väkevässä liuoksessa partikkeleita on enemmän kuin laimeassa liuoksessa. Partikkelit ovat samassa suhteessa toisiinsa nähden molemmissa kuvissa.



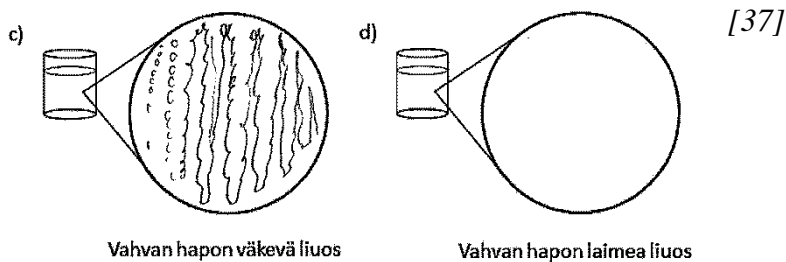
Kolmannen kuvauskategorian toinen käsitekategoria koostuu vastauksista, joissa laimean liuoksen kohta on jätetty täysin tyhjäksi. Kaksi tämän käsitekategorian vastauksista on väkevän liuoksen suhteen oikeilla jäljillä, vaikka toinen vastaajista onkin käsitellyt suolahappoa, eikä yleistapausta.



Yhdessä vastauksessa on näkyvissä vain oksoniumioneita ja vesimolekyylit hapon puuttuessa täysin.

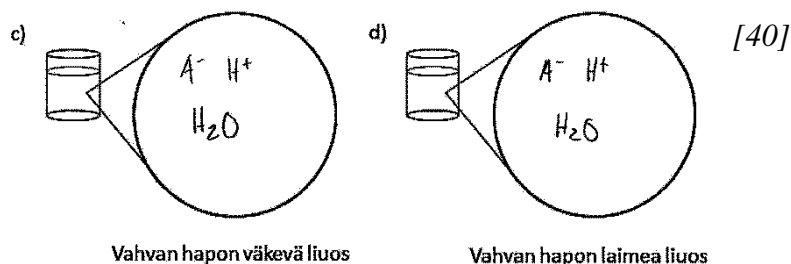


Tähän käsitekategoriaan luokiteltiin myös vastaus, jossa väkeväksi liuokseksi on piirretty kiemuraista viivaa. On vaikea tulkita, mitä vastaaja on vastauksellaan tarkoittanut.



Kolmannen kuvauskategorian viimeinen, kolmas käsitekategoria pitää sisällään vastauksen, jossa on yhtä monta, täsmälleen samaa partikkelia vastauksen molemmilla puo-

lilla. Tässä vastauksessa vastaaja ei ole tehnyt minkäänlaista eroa väkevän ja laimean liuoksen välille.



4.6.3 Analyysia kuudennen kysymyksen vastauksista

Kuudennen kysymyksen vastaukset jäivät harvalukuisiksi, kun vain noin kolmasosa 60 vastaajasta vastasi kysymykseen. Ensimmäiseen pariin vastasi 22 vastaajaa ja toiseen pariin 19 vastaajaa. Koska vastaajat saattoivat vastata vain jompaankumpaan pariin, menivät vastaukset limittäin siten, että yhteensä 23 vastaajaa vastasi joko molempiin tai vain toiseen kysymyksen pareista. Näin ollen 37 vastaajaa koki kysymyksen liian vaikeaksi, vaikeaselkoiseksi tai liian työlääksi vastattavaksi. Selkeästi on havaittavissa, että useamman lukiokurssin käyminen antoi enemmän varmuutta vastauksen yrittämiseen. Testiryhmä jakautuu lähes puoliksi yhden kurssin ja useamman kurssin käyneiden kesken, mutta vain kuusi yhden kurssin käynyttä vastaajaa vastasi kysymykseen. Kysymys oli kuitenkin haastava myös useamman kurssin käyneille vastaajille. Vastauksia tarkasteltaessa huomataan, että useamman kurssin käyneistä vastaajista noin puolet, eli 15 vastaajaa, ei vastannut mitään kumpaankaan pariin.

Jotta tuloksia ja mikrotason ymmärrystä pystytään paremmin analysoimaan, taulukoidaan kummankin parin vastaukset vastaajien mukaan. Taulukointi on esitetty taulukossa 4.7. Taulukkoon on merkitty kunkin vastaajan kuvauskategorialuokittelu kumpaankin pariin. Mikäli vastaaja on jättänyt vastaamatta, on kohta merkitty tyhjäksi. Yhden kurssin käyneet vastaajat on merkitty lihavoidulla tekstillä.

Taulukosta nähdään, että vain kaksi vastaajaa on vastannut kumpaankin pariin yksiselitteisesti oikealla tavalla. Mielenkiintoiseksi tämän tekee se, että toinen näistä vastaajista on käynyt lukiossa vain yhden kemian kurssin. Taulukosta nähdään myös, että 23 vastaajasta yhteensä 11 vastaajaa vastasi siten, että molempien parien vastaukset on luokiteltu kolmanteen kuvauskategoriaan tai siten, että toisen parin vastaus on luokiteltu kolmanteen kuvauskategoriaan ja toinen pari on jätetty tyhjäksi. Heistä seitsemän on käynyt lukiossa enemmän kuin yhden kemian kurssin. Tulokset eivät puhu kovin mairittelevasti testiryhmän mikrotason ymmärryksestä. Muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta osaaminen on välttävää. Tämä saa kysymään, kuinka paljon opetuksessa keskitytään tarkastelemaan ilmiöitä mikrotasolla ja tulisiko siihen keskittyä enemmän, jotta opiskelijat saisivat syvällisemmän ymmärryksen ilmiöistä.

Taulukko 4.7 Kuudennen kysymyksen kuvauskategoriat vastaajien mukaan luokiteltuna.

vastaaja	kuvauskategoria	
	1. pari	2. pari
7	3	3
8	3	-
9	3	3
12	1	1
13	2	3
14	3	3
17	3	-
18	3	3
19	2	2
22	3	-
27	1	2
35	3	3
37	3	3
38	2	2
39	3	2
40	2	3
45	2	2
47	-	3
48	1	2
56	1	1
57	2	3
58	1	2
59	3	-

4.7 Neutraloituminen mikrotasolla

Kysymyslomakkeen viimeisessä kysymyksessä vastaajia pyydettiin piirtämään, miltä näyttää molekyylitasolla keitinlasissa, johon on kaadettu natriumhydroksidin vesiliuosta ja suolahapon vesiliuosta. Suolahapon vesiliuoksella tarkoitettiin tässä kohdassa vetykloridin HCl vesiliuosta. Tämän kysymyksen kohdalla varsinaisen lomakkeen testaus olisi auttanut muokkaamaan kysymystä, sillä tehtävän annosta puuttui maininta siitä, että lähtöaineita oli moolimäärältään yhtä paljon. Vastauksista kävi kuitenkin ilmi, että vastaajat olivat olettaneet moolimäärät yhtä suuriksi ja vastanneet sen mukaisesti.

Lähes puolet vastaajista, 28 kappaletta, vastasi kysymykseen. Kaikista lomakkeen kysymyksistä tämä kysymys jakoi vastaajia selkeimmin sen mukaan, ovatko he käyneet lukiossa useampia kemian kursseja vai eivät. Vain kolme yhden kurssin käynyttä vastasi kysymykseen ja puolestaan vain seitsemän useamman kurssin käynyttä jätti vastaamatta.

Piirrokset käytiin lävitse ja niitä luokiteltiin yhteneväisyyksien mukaan. Löydetyistä kategorioista muotoutui kaksi kuvauskategoriaa, joissa molemmissa on kolme käsitekategoriaa. Muodostettu hierarkkinen kuvauskategoriajärjestelmä on esitetty kuvassa 4.7. Kuvauskategoriat on merkitty kuvaan katkoviivalla ja ne on numeroitu 1 - 2. Molemmat

kuvauskategoriat sisältävät kolme käsitekategoriaa, jotka on merkitty kuvaan pistevii-valla ja numeroitu i) - vi).

Ensimmäiseen kuvauskategoriaan on luokiteltu ne vastaukset, joissa on osoitettu ymmärrys HCl:n ja NaOH:n jakautumisesta ioneiksi vesiliuoksessa. Tämän kuvauskategorian ensimmäisessä käsitekategoriassa on merkitty näkyviin viisi eri hiukkasta: Na^+ , Cl^- , H_2O , H_3O^+ ja OH^- . Ensimmäisessä käsitekategoriassa on siis ymmärretty hapon protolyysin seurauksena saatavan protonin esiintyminen yhdistyneenä veteen eli oksoniumionina H_3O^+ . Toisessa käsitekategoriassa on lähtöaineet jaettu ioneiksi ymmärtämättä, että mukana on myös vettä ja että protoni ei voi esiintyä itsenäisenä vesiliuoksessa. Kolmas käsitekategoria pitää sisällään muuten samat partikkelit kuin toinen käsitekategoria, mutta protonin ja hydroksidi-ionin sijasta tähän on merkitty vesi. Tässä käsitekategoriassa näkyy Arrheniuksen mallin vaikutus, sillä vastaukseksi on merkitty Arrheniuksen mallin mukaiset neutralointireaktion tuotteet. Vastauksessa vain suola on jaettu ioneikseen. Toiseen kuvauskategoriaan on luokiteltu vastaukset, joissa ioninäkemys sijasta on käytetty ainenäkemystä. Näissä vastauksissa ei ole ymmärretty aineen jakautumista ioneiksi. Ensimmäisessä tämän kuvauskategorian käsitekategoriassa vastaus on ajateltu suoraan Arrheniuksen mallin mukaisen neutralointireaktion lopputuotteina, natriumkloridina ja vetenä. Toisessa käsitekategoriassa taas vastaukseksi on merkitty vain lähtöaineet sellaisinaan. Kolmannessa käsitekategoriassa on vastaukset, joissa on käytetty kuvallista ilmaisua.

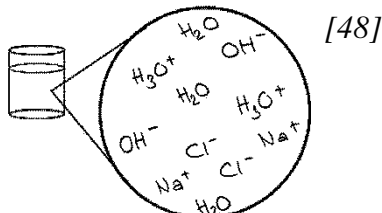
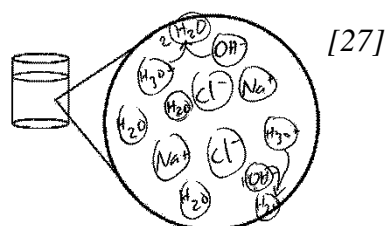
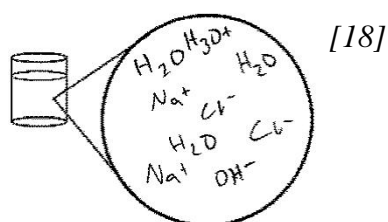
Miltä näyttää molekyylitasolla keitinlasissa, johon kaadetaan natriumhydroksidin ja HCl:n vesiliuosta?	
1. Ioninäkemys	i) $\text{Na}^+ + \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O} + \text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^-$
	ii) $\text{Na}^+ + \text{Cl}^- + \text{H}^+ + \text{OH}^-$
	iii) $\text{Na}^+ + \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$
2. Ainenäkemys	iv) $\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$
	v) $\text{NaOH} + \text{HCl}$
	vi) Kuvallinen ilmaisu

Kuva 4.7 Seitsemännän kysymyksen vastauksista määritetty kuvauskategoriajärjestelmä.

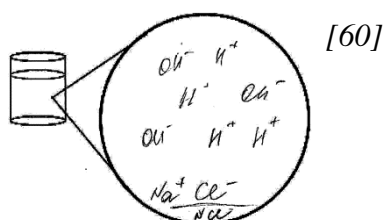
Kuvauskategoriajärjestelmä on hierarkkinen siten, että kuvauskategoria 1 on sisällöltään hienostunein. Tähän luokitteluun päädyttiin siksi, että vesiliuoksen ymmärtäminen ioniliuoksena vaatii enemmän ymmärrystä kuin ainenäkemys. Myös kuvauskategorioiden sisältämät käsitekategoriat ovat hierarkkisesti järjestyneet. Ioninäkemyskuvauskategorian käsitekategoria i) on sisällöltään hienostunein, sillä siinä on osoitettu kaikki liuoksessa olevat hiukkaset. Käsitekategoria ii) on seuraavaksi hienostunein, sillä siinä on merkitty näkyviin myös hydroksidi-ioni ja protoni, vaikka protoni onkin mer-

kitty liuokseen itsenäisenä eikä yhdistyneenä veteen oksoniumioniksi. Ainenäkemykskuvauskategoriassa käsitekategoria iv) on hienostunein, sillä siihen on merkitty neutraloitumisreaktion lopputuotteet, kun taas käsitekategoriassa v) näkyviin on merkitty vain lähtötuotteet. Käsitekategorian vi) kuvalliset ilmaisut on luokiteltu karkeimmaksi tavaksi esittää liuos.

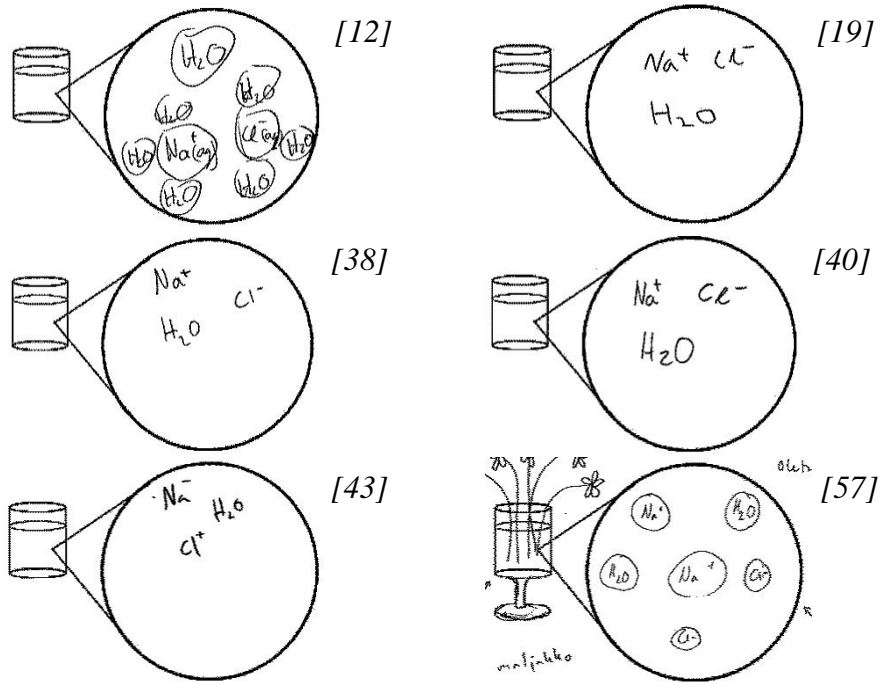
Ensimmäisen kuvauskategorian ensimmäiseen käsitekategoriaan luokiteltiin kolme vastausta. Näihin on merkitty natrium- ja kloridi-ionit sekä vesi ja sen autoprotolyysin tuotteet: oksonium- ja hydroksidi-ionit. Tässä käsitekategoriassa on myös ymmärretty hapon protolyysin seurauksena saatavan protonin esiintyminen yhdistyneenä veteen eli oksoniumionina H_3O^+ , eikä protonia ole merkitty liuokseen itsenäisenä. Vastauksen perässä hakasulkeissa oleva numero on vastaajan koodinumero.



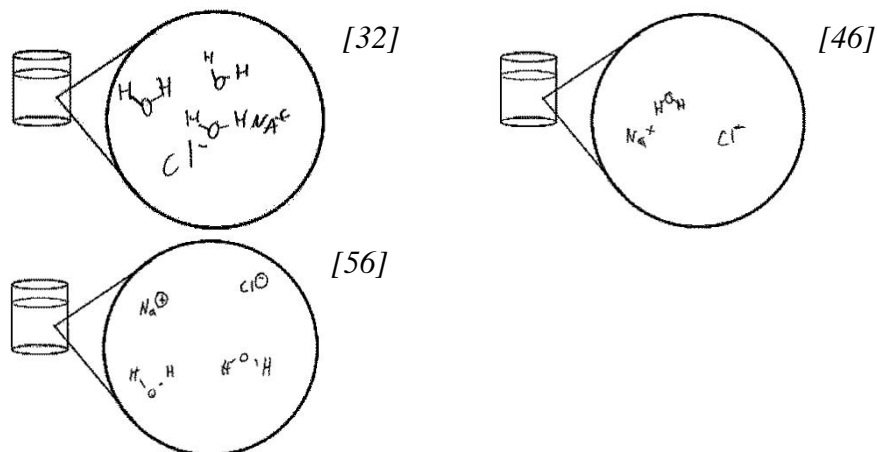
Toiseen ensimmäisen kuvauskategorian käsitekategoriaan on luokiteltu vastaus, jossa lähtöaineet on jaettu ioneiksi. Tästä vastauksesta puuttuu vesi. Vastauksessa ei myös ole ajateltu, että protoni ei voi esiintyä vesiliuoksessa itsenäisenä.



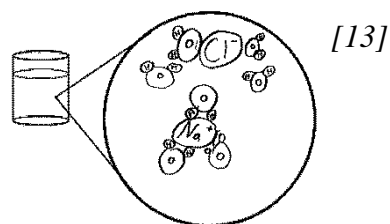
Kolmannessa käsitekategoriassa on vastaukset, joihin on merkitty natrium- ja kloridi-ionit sekä vesimolekyyli, mutta oksonium- ja hydroksidi-ionit puuttuvat. Voidaankin pohtia, ovatko vastaajat ajatelleet näiden ionien "kumoutuvan" reaktiossa. Näissä vastauksissa näkyy Arrheniuksen mallin vaikutus, kun vastaukseen on merkitty Arrheniuksen mallin mukaiset neutraloimisreaktion lopputuotteet. Tämän kategorian vastauksissa on hieman variaatioita. Kuudessa vastauksessa on ionit vain merkitty yksinkertaisesti näkyviin.



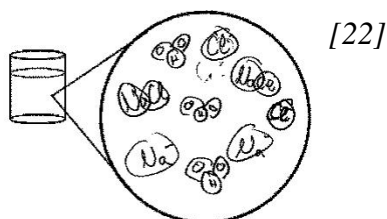
Kolmessa tämän käsitekategorian vastauksista on haluttu korostaa vesimolekyylin muotoa piirtämällä vastaukseen sen rakennekaava.



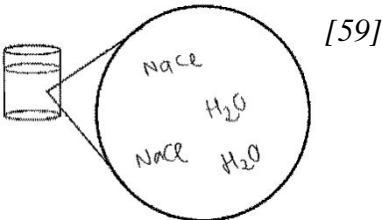
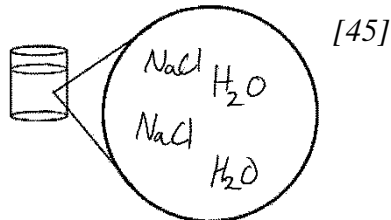
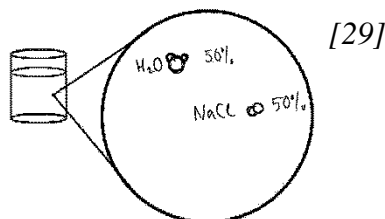
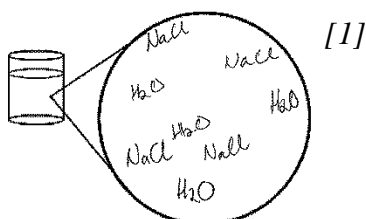
Lisäksi yhdessä vastauksessa on esitetty, kuinka natrium- ja kloridi-ionit ovat hydra-toituineina liuoksessa. Tässä vastauksessa varaukset ovat väärin päin merkitsemällä positiiviset varaukset vastakkain ja negatiiviset varaukset vastakkain. Vastauksessa on kuitenkin osoitettu ioninäkemystä, vaikkakin puutteellista, joten se on luokiteltu tähän kategoriaan.



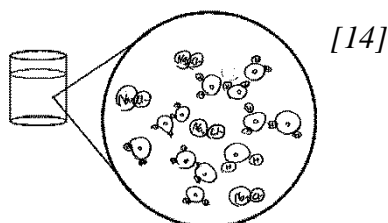
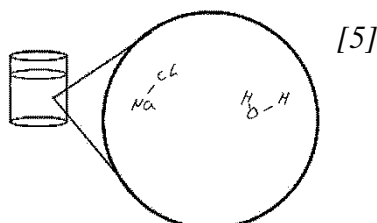
Edellisten lisäksi kolmanteen käsitekategoriaan luokiteltiin vastaus, jossa liuokseen on merkitty natrium- ja kloridi-ionien sekä vesimolekyylien lisäksi natriumkloridia. Natriumkloridi tosin on esitetty eräänlaisena "natriumkloridimolekyylinä", vaikka kiinteät ioniyhdisteet esiintyvät hilana. Vaikka vastaajalla on virheellinen käsitys kiinteän natriumkloridin muodostumisesta, on hän silti ymmärtänyt aineiden ioniluonteen. Tämän lisäksi on katsottu sormien lävitse kuvaan merkittyä molekyyliä, jossa on kaksi happea ja yksi vety. Molekyylin on tulkittu tarkoittavan vesimolekyyliä. Vaikka tässä on selkeä virhe, joka osoittaa mahdollista ulkoa oppimista ymmärtämisen sijasta, on vastauksessa osoitettu ioninäkemystä.

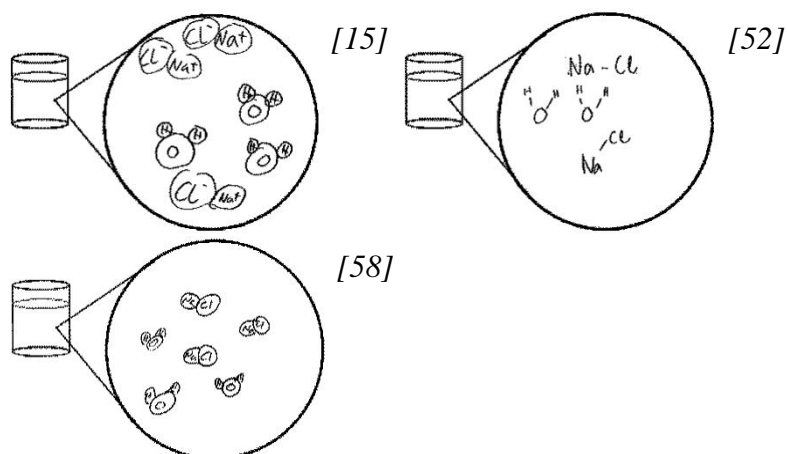


Toiseen kuvauskategoriaan luokiteltiin vastaukset, joissa ioninäkemys sijasta käytettiin ainenäkemystä. Ensimmäisen käsitekategorian vastauksissa näkyviin on merkitty natriumkloridi ja vesi, eli kyseisen neutraloitumisreaktion Arrhenius-mallin mukaiset lopputuotteet. Näissä vastauksissa vastaajat ovat olettaneet, että reaktion lähtöaineita on moolimääräisesti yhtä paljon. Neljässä tämän käsitekategorian vastauksista on yksinkertaisesti merkitty näkyviin vain vesi ja natriumkloridi.

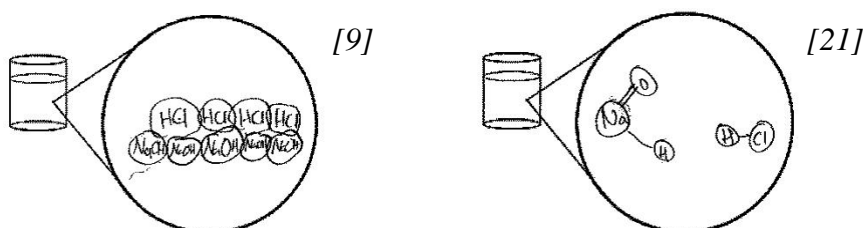


Viidessä vastauksessa sama on ilmaistu rakennekaavoin. Kahteen näistä on merkitty varaukset sekä natriumiin että kloridiin, mutta koska partikkelit on sijoitettu kiinni toisiinsa, niiden on tulkittu tarkoittavan natriumkloridia eikä natrium- ja kloridi-ioneja. Myös näissä vastauksissa natriumkloridi on esitetty molekyylinä ionihilan asemesta eli virhekkäsitä ioniyhdisteiden rakenteesta.

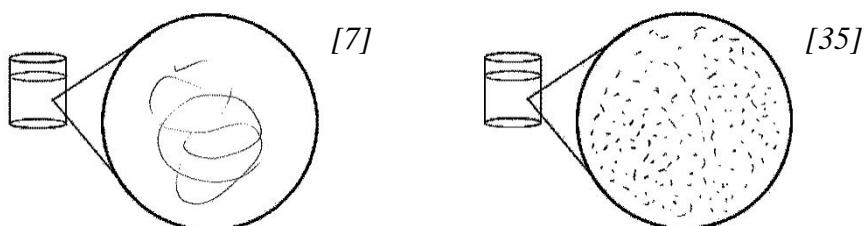




Toiseen tämän kuvauskategorian käsitekategoriaan luokiteltiin vastaukset, joihin on merkitty reaktion lähtöaineet, eli vetykloridi ja natriumhydroksidi. Näissä vastauksissa ei ole ymmärretty, että aineet eivät säily liuoksessa sellaisinaan. Ensimmäisessä tämän kategorian vastauksista vetykloridi ja natriumhydroksidi on piirretty kiinni toisiinsa hilan kaltaisesti järjestäytyneinä. Toisessa vastauksessa on haettu aineiden rakennekaavoja.



Viimeiseen käsitekategoriaan on luokiteltu vastaukset, joissa vastauksiin on käytetty kuvallista ilmaisua. Ensimmäisessä vastauksessa on piirretty jatkuva rihma kuvaamaan tilannetta mikrotasolla. Toisessa vastauksessa on piirretty pisteitä, joilla ilmeisesti pyritään kuvaamaan liuoksen hiukkasia.



Taulukossa 4.8 on esitetty, kuinka vastaukset jakautuvat käsitekategorioiden välille, kun otetaan huomioon vastaajien lukiossa käymien kemian kurssien lukumäärä. Taulukon arvojen summaksi tulee 28, joka on kysymykseen vastanneiden määrä.

Kun lasketaan yhteen vastaukset, jotka sisältyvät ensimmäiseen kuvauskategoriaan, käsitekategoriat i) - iii), sekä vastaukset, jotka sisältyvät toiseen kuvauskategoriaan, käsitekategoriat iv) - vi), huomataan, että vastaukset jakautuvat lähes tasan näiden välille; ensimmäiseen kuvauskategoriaan sisältyy 15 vastausta ja toiseen kuvauskategoriaan sisältyy 13 vastausta. Eniten vastauksia ovat keränneet käsitekategoriat iii) ja iv). Kummassakin käsitekategoriassa on merkitty näkyviin natriumia, kloridia sekä vettä, mutta käsitekategoriassa iii) natrium ja kloridi ovat ioneina, kun taas käsitekategoriassa iv) ne ovat natriumkloridina. Käsitekategorian iv) suosiota voidaan selittää Arrheniuk-

sen mallilla. Mallin mukaan neutraloitumisreaktion tuotteena on vettä ja suolaa, tässä tapauksessa natriumkloridia. Myös käsitekategorian iii) suosio voidaan johtaa Arrheniuksen malliin. Tässä kategoriassa suola vain on ioneinaan, joka osoittaa eräänlaista hybridimallia, johon Arrhenius on vaikuttanut. Myös tämän kysymyksen kohdalla voidaan miettiä, miten vastaukset muuttuisivat, jos Suomi seuraisi Ranskan mallia ja jättäisi Arrheniuksen mallin pois opetuksesta. Suurin osa iii) ja iv) käsitekategorian mukaan vastanneista on käynyt useamman kuin yhden lukiokurssin. Voidaan olettaa, että he tietävät ioniyhdisteiden jakautuvan ioneikseen vesiliuoksessa. Vastauksissansa he eivät kuitenkaan tuo tätä tietoa esille. Tämä voidaan johtaa Arrheniuksen happo-emäsmalliin. Sen mukaan neutraloinnin lopputuotteena on vettä ja suolaa, eivätkä vastaajat ole osanneet ajatella mallin suolan hajoavan ioneikseen.

Taulukko 4.8 Seitsemännen kysymyksen vastausten jakautuminen käsitekategorioissa.

	yksi lukiokurssi	useampi lukiokurssi
käsitekategoria i) (kaikki partikkelit)	0	3
käsitekategoria ii) (lähtöaineet ioneinaan)	0	1
käsitekategoria iii) (Na^+ , Cl^- , H_2O)	1	10
käsitekategoria iv) (lopputuotteet)	2	7
käsitekategoria v) (lähtöaineet)	0	2
käsitekategoria vi) (kuvallinen ilmaisu)	0	2

5 Päätelmät

Tämän työn tarkoituksena oli tutkia, kuinka happo-emäskemiaa ymmärretään lukioke-
mian pohjalta ja pystytäänkö havaitsemaan sellaisia yleisiä virhekäsityksiä, joiden kor-
jaamiseen voitaisiin keskittyä opetuksessa. Erityinen mielenkiinto kohdistui Arrheniuk-
sen happo-emäsmallin vaikutuksesta opiskelijoiden ymmärrykseen. Tätä varten tutki-
muksessa kartoitettiin tekniikan ylioppilaiden lukion jälkeisiä happo-emäskäsityksiä
fenomenografian keinoin. Kohderyhmän tarkalla rajauksella tutkimus kohdistettiin nii-
hin opiskelijoihin, jotka eivät olleet vielä lukeneet kemiaa yliopistossa. Näin pyrittiin
pääsemään paremmin käsiksi siihen, mitä he olivat oppineet lukion kemian opetuksessa.

Tässä luvussa vastataan johdannossa esitettyihin tutkimuskysymyksiin. Tämän jäl-
keen pohditaan työn tieteellistä kontribuutiota, työn rajoituksia ja onnistumista. Lopuksi
esitetään toimenpidesuosituksia ja mahdollisia jatkotutkimusaiheita.

5.1 Tutkimuskysymysten tarkastelu

Tässä luvussa esitetään vastaukset johdannossa esitettyihin alatutkimuskysymyksiin ja
tutkimuksen päätutkimuskysymykseen. Luvuissa 5.1.1 - 5.1.3 tutustutaan alatutkimus-
kysymyksiin ja luvussa 5.1.4 päätutkimuskysymykseen.

5.1.1 Mikrotason ymmärtäminen

Tutkimuksessa haluttiin selvittää, kuinka happo-emäskemian ilmiöitä ymmärretään
mikrotasolla. Aiemmissa tutkimuksissa (Carr 1984; Ahonen 2005) on havaittu, että ke-
mian luonteen kolmikantaisuus aiheuttaa ongelmia, mikäli opiskelija ei osaa yhdistää
makrotason havaintoja mikrotason tapahtumiin. Näin ollen ensimmäiseksi alatutkimus-
kysymykseksi muotoutui:

Miten happo-emäskemian ilmiöitä ymmärretään mikrotasolla?

Kyselylomakkeen kuudes ja seitsemäs kysymys käsittelivät tätä tutkimuskysymystä.
Kuudes kysymys osoitti, että mikrotason ymmärrys ei ole itsestäänselvyys. Vain harvat
vastaajat osasivat esittää mikrotason oikealla esitystavalla ja vielä harvemmat täysin
oikein. Kuvauskategorijärjestelmien samankaltaisuuksien vuoksi kuudennen kysymyk-
sen pareja pystyttiin vertailemaan vastaajien mukaan. Taulukoimalla vastaukset havait-
tiin, että vain kaksi vastaaja vastasi yksiselitteisesti oikein kumpaankin pariin, kun taas
11 vastaaja vastasi molempiin täysin väärin.

Yleisin yksittäinen väärinymmärrys oli hapon vahvuuden liittäminen konsentraati-
oon. Kuudennen kysymyksen ensimmäisessä parissa osa vastaajista käsitti vahvan ja
heikon hapon eron konsentraatioerona. Kala et al. (2013) havaitsivat saman virhekäsi-
tyksen turkkilaisilla lukiolaisilla. Tässä virhekäsityksessä konsentraatio ja hapon vah-
vuus ajatellaan samana asiana, jolloin vahvalla hapolla olisi vain suurempi konsentraa-
tio kuin heikolla hapolla. Sama oli nähtävissä myös yhdessä taustatutkimusaineistossa.
Vaikka aineisto₁:n tuloksia ei voida suoraan verrata tämän tutkimuksen tuloksiin erilai-
sen kohderyhmän takia, voidaan tämän virhekäsityksen esiintyminen silti havaita. Ai-
neisto₁ on kerätty yliopistokurssin koevastauksista ja näistä vastaajista 4 % on vastan-

nut, että vahvan hapon konsentraatio liuoksessa on suuri ja heikon hapon vastaavasti pieni.

Seitsemannen kysymyksen vastauksissa näkyy Arrheniuksen mallin vaikutus. Suurin osa vastanneista vastasi kysymykseen merkiten näkyviin reaktion Arrhenius-mallin mukaiset tuotteet: suolan ja veden. Vaikka osa ymmärsi suolan olevan vesiliuoksessa ioneinaan, jäi heiltä merkitsemättä oksonium- ja hydroksidi-ionit, joita on läsnä myös neutraalissa liuoksessa. Seitsemannen kysymyksen tehtävänannossa ei mainittu, että lähtöaineita on sama moolimäärä. Vastauksista kuitenkin huomattiin, että vastaajat olettivat näin. Mikäli opiskelija ei ymmärrä abstrakteja ilmiöitä, niiden huolimaton konkretisointi ja havainnollistaminen voi tuottaa uusia väärinymmärryksiä. On saattanut olla, että opetuksessa on puhuttu ionien kumoutumisesta neutraloitumisesta. Tällöin opiskelija on voinut luulla, että neutraalissa liuoksessa ei ole lainkaan oksonium- ja hydroksidi-ioneja, vaikka neutraalissakin liuoksessa on läsnä sekä oksonium- että hydroksidi-ioneja samassa, pienessä konsentraatiossa veden autoprotolyysistä johtuen.

On tärkeää, että tunnilla tehtävät demonstraatiot ja laboratoriotyöt käydään tarkasti lävitse kaikilla kolmella kemian ilmenemistasolla: niin makroskooppisella havaintotasolla, mikroskooppisella partikkelitasolla kuin symbolisen tason kaavoin ja reaktioyhtälöin. Mikäli makrotason ilmiöitä ei osata yhdistää mikrotasoon ja symboliseen esitystapaan, jää kokeellinen työskentely mukavan puuhastelun tasolle. Abraham et al. (1994) korostivat mallien ymmärtämisen tärkeyttä ja painottivat tutkimuksessaan, että oppilaita tulisi tukea yhdistämään kokeellisen työskentelyn makroilmiöt abstrakteihin mikromaa- ilman atomi- ja molekyyli-malleihin. Näin voitaisiin tukea oppilaan ymmärrystä kemian eri ilmenemistasoista.

5.1.2 Mallieroavaisuuksien ymmärtäminen

Toisena mielenkiinnon kohteena oli, kuinka opiskelijat ymmärtävät erilaiset happo-emäsmallit. Aiemmissa tutkimuksissa (Drechsler & Van Driel 2008; Coll & Treagust 2003; Furió-Más et al. 2007) on havaittu, että opetuksessa ei tuoda esille Arrheniuksen ja Brønstedin mallien eroavaisuuksia, mikä altistaa väärinymmärryksille. Toiseksi alatuotkimuskysymykseksi muotoutui näin ollen:

Miten happo-emäsmallien eroavaisuudet ymmärretään?

Kyselylomakkeen toinen ja kolmas kysymys käsittelivät tätä tutkimuskysymystä. Toisen kysymyksen vastauksista huomattiin, että mallien nimet olivat vastaajille tuntemattomia. Vain yksi vastaaja osasi kertoa oikein Arrhenius- ja Brønsted-malleista. Tämä osoittaa, että opetuksessa ei ole painotettu eri mallien olemassaoloa. Mikäli mallien erillisyyttä jää epäselväksi, opiskelija kehittää herkästi oman hybridimallinsa, joka sekoittaa vanhan ja uuden mallin ominaisuuksia. Opiskelijat voivat myös nähdä mallit saman ilmiön eriasteisina yleistyksinä, jolloin voidaan ajatella, että yksinkertaisemman mallin ominaisuudet pätevät myös uudessa mallissa.

Kolmas kysymys osoittaa, että pohjimmiltaan samaa reaktiota esittävät kaavat miellettiin täysin eri reaktioiksi. Neutraloitumisreaktioksi nimettiin pääsääntöisesti Arrheniuksen teorian mukainen kaava, kun taas Brønstedin teorian mukainen kaava nimettiin tasapainoreaktioksi tai heikon hapon ja heikon emäksen väliseksi reaktioksi. Vain harva ymmärsi, että myös Brønstedin mukaisessa kaavassa tapahtuu neutraloitumista. Tässä oli nähtävissä, että vain loppuun asti eli neutraaliin lopputuotteeseen päätyvä reaktio nähtiin neutraloitumisena. Näin ollen neutralointireaktion prosessiluonnetta ei ole ymmärretty.

Drechsler ja Schmidt (2005) painottivat tutkimuksessaan, että opettajien ja oppikirjojen tulisi tehdä selkeä ero eri happo-emästeorioiden välille. Tämä myös kehittäisi opiskelijoiden ymmärrystä tieteellisen tiedon luonteesta. Tällöin opiskelijoille tulisi selväksi, että teoriat eivät synny valmiina. Niitä kehitetään tiedon karttuessa kuvaamaan paremmin todellisuutta.

5.1.3 Neutraloitumisreaktion ymmärtäminen

Kolmantena kiinnostuksen kohteena tutkimuksessa oli, kuinka neutraloitumisreaktiota ymmärretään ja ajatellaanko reaktion päätyvän neutraaliin lopputuotteeseen. Aiemmissa tutkimuksissa (Gabel 1999; Schmidt 1991) on havaittu, että monimerkityksiset sanat, esimerkiksi neutraali, aiheuttavat virhekäsityksiä. Tämän tutkimiseksi kolmanneksi alatutkimuskysymykseksi muotoutui:

Millaiseksi neutraloitumisreaktio ymmärretään?

Tätä tutkimuskysymystä käsiteltiin niin kolmannessa ja neljännessä kysymyksessä. Myös seitsemännen kysymyksen tarkoitus oli käsitellä tätä tutkimuskysymystä, vaikka tehtävänannosta jäi puuttumaan maininta lähtöaineiden samasta moolimäärästä. Vastajat kuitenkin olettivat lähtöaineiden moolimääräksi saman, joten kysymyksen vastauksia voi käyttää tämän tutkimuskysymyksen käsittelyyn. Kolmannen kysymyksen vastauksista huomattiin, että monet vastaajat mielsivät vain Arrheniuksen teorian mukaisen kaavan neutraloitumisreaktioksi. Tällöin neutraloituminen käsitetään neutraaliin lopputuotteeseen päätyvänä reaktiona, eikä niinkään prosessiluontoisena reaktiona, jossa neutraloitumista tapahtuu tiettyyn pisteeseen asti. Kuten toisen tutkimuskysymyksen käsittelyssä todettiin, kolmannen kysymyksen vastauksissa Brønstedin mallin mukainen kaava nimettiin muun muassa tasapainoreaktioksi ymmärtämättä, että myös siinä tapahtuu neutraloitumista.

Neutraalin lopputuotteen näkemys toistuu neljännen kysymyksen vastauksissa. Tässä kysymyksessä 30 vastaajaa 54 vastanneesta mainitsi neutraloitumisreaktion päätyvän neutraaliin tuotteeseen. Tämä on linjassa Schmidtin (1991) tutkimuksen kanssa, jossa hän havaitsi saksalaisten opiskelijoiden ajattelevan samalla tavalla. Tämä onkin yleinen virhekäsitys, jota on havaittu niin Turkissa, Kanadassa, kuin Australiassakin. Schmidtin (1991) mukaan ilmiö voidaan johtaa termistöön. Brønstedin teoria kumosi Arrheniuksen mallin mukaisen ajatuksen happojen ja emästen taipumuksesta tuhota toisensa tuottaen neutraalia lopputuotetta. Brønsted itse totesi, että termit neutraali ja neutraloituminen tulisi hylätä loogisuuden nimissä. (Schmidt 1991.) Näin ei ole kuitenkaan käynyt ja termit aiheuttavat virhekäsityksiä. Tämä on näkyvissä myös seitsemännen kysymyksen vastauksissa, joissa ei ole merkitty näkyviin oksonium- ja hydroksidi-ioneja, vaikka niitä esiintyy myös kysytyssä liuoksessa.

5.1.4 Arrheniuksen mallin vaikutus happo-emäskemian ymmärrykseen

Tutkimuksessa haluttiin selvittää, kuinka Arrheniuksen malli vaikuttaa happo-emäskemian ymmärrykseen. Aiemmissa tutkimuksissa on havaittu käsitteen muutosprosessin työläys ja opiskelijoiden vastahakoisuus hylätä ensin oppimansa asia. Koska lukiossa opiskellaan kahden happo-emäsmallin mukaan, heräsi kysymys siitä, onko Arrheniuksen mukaisesta lukio-opiskelusta jopa haittaa. Tutkimuksen päätutkimuskysymykseksi muotoutui:

Miten Arrheniuksen malli vaikuttaa happo-emäskemian ymmärtämiseen?

Tutkimuksen tulosten perusteella Arrheniuksen malli voi vaikuttaa osaamiseen paljon. Arrheniuksen mallin mukaiset vastaukset ovat ymmärrettäviä niiltä opiskelijoilta, jotka ovat opiskelleet lukiossa vain yhden pakollisen kemian kurssin, sillä tällä kurssilla ei Brønstedin mallia vielä mainita. Myös monet useampia kursseja lukeneet vastasivat kysymyksiin Arrheniuksen mallia noudattaen. Tämä osoittaa, että uudempaa Brønstedin mallia ei ole hyväksytty osaksi käsiteverkostoa, tai opiskelijat eivät välttämättä edes tiedä, että kyseessä on eri mallit, joilla on eri ominaisuudet.

Päätutkimuskysymystä tutkittiin alatutkimuskysymysten avulla, joissa nähtiin Arrheniuksen mallin vaikutusta. Mikrotason ymmärtämisessä havaittiin, että monet vastasivat kysymykseen Arrheniuksen mallin mukaan. Monilta jäi neutralointireaktion oksonium- ja hydroksidi-ionit piirtämättä. Tämän voi ajatella johtuvan siitä, että Arrheniuksen teorian mukaan hapon protoni ja emäksen hydroksidi-ryhmä yhtyvät vedeksi, jolloin ylimääräisiä oksonium- ja hydroksidi-ioneja ei jää liuokseen. Lisäksi kuudennen kysymyksen vastauksista löydettiin kaksi tapausta, joissa protoni on piirretty liuokseen itsenäisenä.

Tutkittaessa neutraloitumisreaktion ymmärtämistä tarkemmin huomattiin, että vain Arrheniuksen mukainen kaava nimettiin neutraloitumisreaktioksi Brønstedin teorian mukaisen kaavan saadessa erilaisia nimityksiä. Mallieroavaisuuksien ymmärtämisessä taas havaittiin, että lähes kaikki vastaajat olivat tietämättömiä eri mallien olemassaolosta.

Näiden lisäksi ensimmäisessä kysymyksessä tuli ilmi, että monet opiskelijat jäivät happoselityksissään kuvailevalle tasolle. Tämä voi selittyä sillä, että he ovat pitäytyneet Arrheniuksen mallissa. Banerjee (1991) kirjoitti tutkimuksessaan saman ilmiön esiintymisestä intialaisilla opiskelijoilla jo yli 20 vuotta sitten. Viides kysymys käsitteli konjugaattipareja, ja useat vastaajat esittivät hämmennyksensä termiä kohtaan. Tämä on ymmärrettävää, sillä Arrheniuksen teoriassa ei konjugaattipareja ole ollenkaan. Ne tulevat esille vasta Brønstedin mallin protoninsiirtoreaktion myötä. On myös mahdollista, että hämmennyksen on aiheuttanut sanan "konjugaatti" käyttö, jos opetuksessa on käytetty vain suomenkielistä vastinetta.

5.2 Tutkimuksen tieteellisen kontribuution arviointi

Tämä tutkimus lisää ymmärrystä niistä käsityksistä, joita suomalaisilla opiskelijoilla on happo-emäskemiasta lukio-opetuksen jälkeen. Havaitut käsityksistä ovat linjassa ulkomaalaisten tutkimusten havaitsemien käsitysten kanssa. Samalla tutkimus tukee Hawkesin (1992) näkemystä siitä, että Arrheniuksen happo-emäsmalli voi hämmentää ja aiheuttaa virheellisiä käsityksiä.

Tutkimalla oikeita ja vääriä käsityksiä ensimmäisen kysymyksen eri kuvauskategorioissa havaittiin, että monien vastaajien käsiteverkostot eivät ole rakentuneet oikein. Tällöin abstraktit käsitteet ovat verkostoissa irrallisina yksikköinä, jotka on helppo muistaa väärin. Gabelin (1999) mukaan näin tapahtuu herkästi, kun uutta tietoa ei ymmärretä oikein eikä sitä osata linkittää olemassa oleviin käsiteverkostoihin. Toisaalta, mikäli opiskelija ei ole vielä siirtynyt formaalin ajattelun tasolle, on hänen vaikea oppia sitä vaativia käsityksiä. Mikrotason ilmiöitä ei voi itse havaita, joten abstraktia asiaa voi olla vaikea käsittää ilman formaalin ajattelun taitoa.

Formaalin ajattelun taito liittyy edellisessä alaluvussa esiteltyyn tulokseen, joka on linjassa Banerjeen (1991) tutkimuksen kanssa. Mikäli opiskelija ei ole siirtynyt formaalin ajattelun tasolle happo-emäskemiassa, eli hän ajattelee Arrheniuksen mallin mukai-

sesti, jäävät happo-emässelitykset kuvailevalle tasolle. Tämä käsitys näkyy myös tämän tutkimuksen ensimmäisessä kysymyksessä, kun happoselitys on käsitetty kuvailevana, aistinvaraisena selityksenä. Myös ensimmäisen tutkimuskysymyksen tarkastelussa havaittu käsitys vahvan ja heikon hapon erosta konsentraatioerona on myös havaittu kansainvälisissä tutkimuksissa, kun Kala et al. (2013) havaitsi saman käsityksen turkkilaisilla opiskelijoilla.

Tutkimuksessa havaittiin yleinen käsitys siitä, että neutraloitumisreaktion tuote on neutraali. Tämä on linjassa Schmidtin (1991) tutkimuksen kanssa. Tämä osoittaa, että termistö voi aiheuttaa ongelmia myös Suomen kielessä. Opiskelijat voivat tulkita sen tarkoittavan alkuperäisen merkityksensä mukaan "ei yhtä, eikä toista", joka pitää paikkansa sähkövarausten suhteen. Tätä käsitystä tukee lukion pakollisella kurssilla opetettava Arrheniuksen happo-emäsmalli, jonka lopputuotteena on vain suolaa ja vettä.

Oppikirjoja tutkimalla on huomattu, että lukion oppikirjoissa ei tehdä mitään eroa pakollisella kurssilla opetettavan Arrheniuksen mallin ja syventävällä kurssilla opetettavan Brønstedin mallin välille. Drechsler ja van Driel (2009) havaitsivat Ruotsissa, että opettajat eivät tuo opetuksessaan ilmi asioita, joita kirja ei mainitse. Monet opettajat eivät uskalla poiketa oppikirjan sisällöstä, jotta oppilaat eivät hämmenny. Mikäli oppikirjassa ei korosteta eroja eri mallien välillä, voi asia jäädä epäselväksi opiskelijalle ja hänen olisi vain hyväksyttävä uuden mallin käyttö. Tämä ei kuitenkaan ole ongelmantona. Coll ja Treagust (2003) sekä Drechsler ja van Driel (2008) kirjoittivat kyseisestä ilmiöstä. Oppilaat hyväksyvät ensimmäisenä esitetyn mallin, eivätkä myöhemmin välttämättä mieti, miten se vertautuu toiseen, samaa asiaa käsittelevään malliin. He saattavat ajatella, että eri mallit ovat saman asian eriasteisia yleistyksiä, jolloin ei ole väliä, kumpaa mallia käyttää. Tällöin voi ilmetä hankaluuksia, mikäli uuden mallin hyötyjä ja vanhan mallin rajoituksia ei selkeästi tuoda esille. Oppilaat herkästi pitäytyvätkin vanhassa mallissa, sillä se ei vaadi uuden opettelua. Voi myös olla, että he kehittävät eräänlaisen hybridimallin, joka sekoittaa ominaisuuksia sekä vanhasta että uudesta mallista, kuten on nähtävissä seitsemännen kysymyksen käsitteekategoriassa iii). Tässä hybridimallissa on sekoitettu Arrheniuksen teoria ja Brønstedin mallin partikkelit, kun Arrheniuksen mallin mukaiset neutraloimisreaktion lopputuotteet on ilmaistu merkitsemällä suola ioneikseen jakautuneena.

5.3 Työn rajoitteet ja onnistumisen arviointi

Fenomenografinen tutkimustapa soveltuu hyvin oppimiskäsitysten tutkimiseen, sillä sen tutkimuskohteena ovat ne laadullisesti erilaiset tavat, joilla ilmiö koetaan ja käsitteellistetään. Tutkimusmenetelmänä fenomenografia tuo kuitenkin myös rajoituksia. Fenomenografinen tutkimus tähtää käsitysten kattavaan esittelyyn kuvauskategoriajärjestelmän avulla. Kategoriajärjestelmän luomiselle ei kuitenkaan ole ohjekirjaa, vaan se on hyvin tulkinnallista ja subjektiivista. Tutkija itse määrittelee vastausten merkitysyksiköt ja niiden lajittelutavat. Näin ollen toinen tutkija voisi luoda samasta aineistosta aivan erilaisen kategoriajärjestelmän. Tämän tutkimuksen luotettavuutta on pyritty lisäämään esittämällä kaikki saadut vastaukset sekä pyrkimällä selittämään selkeästi niiden lajitteluperusteita.

Myös tutkimuksen aineistonkeruumenetelmä tuo omat rajoituksensa. Paras aineistonkeruumenetelmä fenomenografiselle tutkimukselle on haastattelu, mutta ajallisten resurssien takia aineiston keruu päädyttiin suorittamaan avoimella kyselylomakkeella. Kyselylomakkeen huonoina puolina on, että kysymyksiin jätetään herkästi vastaamatta tai kysymyksiin voidaan vastata epäselvästi. Tämä huomattiin myös tässä tutkimuksessa; monet vastaajat jättivät kyselylomakkeen kohtia tyhjäksi ja tutkija joutui tekemään

tulkintoja joidenkin vastausten merkityksistä. Lisäksi tutkimuksen otos oli suhteellisen pieni, kun vastauksia saatiin kerättyä vain 60 kappaletta. Näin ollen tuloksien yleistettävyydestä ei voida olla täysin varmoja. Ajallisten resurssien riittäessä kyselylomake olisi myös kannattanut testata uudemman kerran. Näin taustakysymystä olisi voitu tarkentaa kysymään, onko vastaaja käynyt lukiossa kemian syventävää kurssia 5, jolla on käsitelty happoja ja emäksiä. Viidennen kysymyksen sanamuotoa olisi voitu tarkentaa mainitsemalla konjugaattiparien sijasta happo-emäsparit. Myös seitsemäs kysymys olisi vaatinut pieniä tarkennuksia: suolahapon vesiliuoksen sijasta olisi pitänyt puhua vetykloridin vesiliuoksesta ja kysymyksessä olisi pitänyt mainita, että lähtöaineita on sama moolimäärä.

Avointen kysymysten käsittely oli työlästä, mutta kannattavaa, sillä aineistoa saatiin kerättyä kohtuullisesti päätelmien tekoon. Vaikka aineisto oli kohtuullisen pieni, huomattiin vastauksen käsittelyssä, että merkitysyksiköt alkoivat toistua. Tämä kertoo aineiston saturaatiosta, joka on merkki riittävästä aineistosta. Varsinkin kahden viimeisen kysymyksen käsittely osoittautui työlääksi, sillä vastaukset oli ensin tekstinnettävä ennen kuin niitä pystyi käsittelemään.

Vaikka fenomenografinen tutkimus ei niinkään ole kiinnostunut käsitysten oikeellisuudesta, tässä tutkimuksessa otettiin kantaa myös siihen. Tällä valinnalla pyrittiin analysoimaan tuloksia tarkemmin ja syvällisemmin sekä löytämään virheellisiä käsityksiä. Näitä myös löydettiin ja tutkimus vastasi esitettyihin tutkimuskysymyksiin. Voidaan siis sanoa, että työ onnistui hyvin.

5.4 Toimenpidesuositukset

Tässä tutkimuksessa tuli ilmi kaksi yleistä virheellistä käsitystä, joiden korjaamiseen opettaja voi opetuksessa puuttua. Toisessa näistä vahvan ja heikon hapon ero nähdään konsentraatioerona ja toisessa neutraloitumisreaktion lopputuote ajatellaan aina neutraaliksi. Tutkimus herättää kuitenkin kysymyksen, jolla on laajempia vaikutuksia. Olisikin hyvä miettiä, tuoko Arrheniuksen mallin opettelu mitään hyötyä lukion opetukseen, vai voisimmeko Suomessa siirtyä seuraamaan Ranskan mallia, jossa Arrheniuksen malli on jätetty pois toisen asteen opetussuunnitelmasta. Ahtee (1998) ja Nakhleh (1994) puhuvat luonnontieteiden historian oppimisen puolesta. Heidän mukaansa oppilailta jää helposti oivaltamatta luonnontieteellisen tiedon luonne, mikäli opetuksessa sivuutetaan luonnontieteen historia. Tällöin myös alttius väärinymmärryksille voi lisääntyä. Lisäksi Drechsler ja van Driel (2009) ehdottavat, että opettajankoulutuksessa olisi painotettava enemmän historiallista näkökulmaa ja mallien kehittymisen esille tuontia. Suomessa edetään opetuksessa historiallisen kehityksen mukaisesti opiskelemalla ensin Arrheniuksen mallin mukaisesti ja sitten uudemman Brønsted–Lowry-mallin mukaisesti. Tämän tutkimuksen tulokset kuitenkin osoittavat, että tämä ei nykymuodossaan toimi.

Peruskoulussa opiskellaan Arrheniuksen mallin mukaisesti. Tämän voidaan ajatella johtuvan siitä, että Brønstedin malli vaatii formaalia ajattelua, joka peruskoululaisilta voi vielä uupua. Lukiolaisilta formaalia ajattelua voidaan kuitenkin jo vaatia. Olisi loogista, että opetettavan mallin vaihto tapahtuisi kouluasteiden välillä. Nykyään se tapahtuu lukion kurssien välillä, kun pakollisella kurssilla jatketaan peruskoulun linjalla ja vasta syventävällä kurssilla tuodaan esille Brønstedin malli. Olisi myös kannattavaa miettiä, tarvitseeko peruskoulussakaan opettaa Arrheniuksen mallin mukaan vai voitaisiinko sielläkin siirtyä suoraan Brønstedin mallin mukaiseen opetukseen. Mikäli Arrheniuksen mallista halutaan kuitenkin pitää kiinni, on varmistettava, että mallien erillisuus tulee opiskelijoille selväksi. Näin ei kuitenkaan ole tämän tutkimuksen tulosten

perusteella. Koska tietämys eri mallien olemassaolosta on hyvin puutteellista, on perusteltua ehdottaa, että Arrheniuksen malli jätettäisiin pois lukion ja yläkoulun opetuksesta.

Ranskassa Arrheniuksen teoria on jätetty pois toisen asteen opetussuunnitelmasta. Tämä on tuottanut hyviä tuloksia, kuten Cokelezin (2010) tutkimuksesta nähdään. Hän vertaili ranskalaisten ja turkkilaisten happo-emäskäsityksiä ja havaitsi, että ranskalaiset oppilaat ymmärsivät happo-emäsreaktioissa tapahtuvan protonin siirron. Turkkilaiset oppilaat, jotka opiskelevat Suomen mallin tavoin, pitäytyivät Arrheniuksen mallissa uskoen, että happo-emäsreaktion tuotteena on aina suolaa ja vettä. Hawkes (1992) esitti jo 20 vuotta sitten, että Arrheniuksen malli olisi jätettävä pois, sillä siirtyminen Brønstedin malliin vain hämmentää oppilaita. Oletetaanko Suomessa, että Brønsted-malli olisi liian vaikea lukion ensimmäisen vuoden opiskelijoille, jolloin Arrheniuksen mallin poisjättäminen ei ole vaihtoehto? Arrheniuksen malli on toki hieman yksinkertaisempi kuin Brønstedin malli, sillä sen kehittämisen aikaan ei ole tiedetty yhtä paljon kuin nykyään. Happo-emäsmallien opetuksessa voitaisiin toimia kuten atomimallien opetuksessa. Thomsonin atomimalli, "rusinapullamalli", on hyvä esimerkki historiallisesta viitteestä, joka esitetään yhtenä astinlautana tiellä paremman mallin kehittämiseen.

5.5 Jatkotutkimusaiheet

Tämä tutkimus on kohtuullisen suppea käsittäen vain yhden luentoryhmän, josta saatiin kerättyä 60 vastausta. Tutkimuksessa on kuitenkin myös mukana taustatutkimusaineisto (Hukka s.a), jossa päädyttiin samaan lopputulokseen Arrheniuksen mallin haitasta myöhemmin opitun ymmärtämisessä. Näin ollen työn yleistettävyyys paranee. Aihetta olisi kannattavaa tutkia laajemmin, jotta nähtäisiin, ovatko tutkimuksen tulokset yleistettävissä. Erityisen kannattavaa olisi kohdistaa tutkimus niihin opiskelijoihin, jotka ovat käyneet lukiossa syventävän kurssin 5, jolla käsitellään happoja ja emäksiä. Näin saataisiin parempi käsitys siitä, ovatko opiskelijat hyväksyneet Brønstedin happo-emästeorian vai pitäytyvätkö he Arrheniuksen teoriassa. Paras tutkimusmenetelmä tähän olisi haastattelututkimus, jolloin tutkittavat voisivat kertoa käsityksistään laajemmin. Tällöin tutkija voisi myös pyytää heitä tarkentamaan käsityksiään, mikäli ne ovat epäselviä.

Tutkimusta voisi myös laajentaa tutkimalla joko peruskoulun lopettaneiden tai lukion juuri aloittaneiden käsityksiä, jolloin pystyttäisiin kohdentamaan tutkimus siihen, miten lukio-opinnot vaikuttavat käsityksiin. Paras menetelmä tälle tutkimukselle olisi seurantatutkimus, jolloin käsityksiä tutkittaisiin samalta tutkimusryhmältä niin lukion alkaessa kuin uudestaan lukion loputtua.

Myös oppikirjoja tulisi tutkia tarkemmin, sillä tässä tutkimuksessa tyydyttiin vain pikaiseen katsaukseen. Olisi hyödyllistä selvittää, miten eri kirjasarjat tuovat eri mallit esille ja tehdäänkö niiden välille eroja. Oppikirjoissa on myös usein käsitelty opetussuunnitelman ylittäviä asioita. Mikäli opettaja ei ole tietoinen opetussuunnitelman sisällöstä, käyttää hän helposti aikaa ylimääräisten asioiden opettamiseen. Olisikin kannattavaa tutkia, kuinka hyvin kirjasarjat noudattavat opetussuunnitelmaa ja onko opetussuunnitelman ylittävät asiat merkitty niissä lisätiedoksi.

Virhekäsityksiä olisi hyvä tutkia laajemminkin. Jokaisella kemian aihealueella on omat virhekäsityksensä ja niiden kirjon ja syiden löytyminen hyödyttäisi opetusta. Koska opiskelijoilla voi olla monia virhekäsityksiä, jotka ovat syntyneet aikaisemmassa opetuksessa tai koulun ulkopuolella, on opettajan pystyttävä havaitsemaan ne. Tämän takia olisi myös kannattavaa tutkia, kuinka opettajankoulutuksessa otetaan huomioon virhekäsitysten kartoittaminen ja tapahtuuko niiden diagnosointia oppitunneilla.

Lähteet

- Abraham, M.R., Grzybowski, E.B., Renner, J.W. & Marek, E.A. 1992. Understandings and Misunderstandings of Eighth Graders of Five Chemistry Concepts Found in Text-books. *Journal of Research in Science Teaching* 29, 2, pp. 105–120.
- Abraham, M.R., Williamson, V.M. & Westbrook, S.L. 1994. A Cross-Age Study of the Understanding of Five Chemistry Concepts. *Journal of Research in Science Teaching* 31, 2, pp. 147–165.
- Ahtee, M. 1998. Luonnontieteiden opettaminen ja konstruktivismi. In: Lavonen, J. & Eräutuuli, M. (ed.). *Tuulta purjeisiin: matemaattisten aineiden opetus 2000-luvulla*. Jyväskylä, Atena Kustannus. s. 138–153.
- Ahonen, T. 2005. Historiaan pohjautuva lähestymistapa kemian opetuksessa. Pro gradu-tutkielma. Helsinki. Helsingin yliopisto, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta. 82 s.
- Asunta, T. & Joki, J. 2003. Atomirakenteen oppiminen ja siihen liittyviä vaikeuksia. In: Meisalo, V. (ed.). *Aineenopettajankoulutuksen vaihtoehdot ja tutkimus 2002 – Ainedidaktiikan symposium 1.2.2002*. Helsinki, Hakapaino. s. 532.
- Baird, J. & White, R. 1996. Metacognitive Strategies in the Classroom. In: Treagust, D., Duit, R. & Fraser, B. (ed.). *Improving Teaching and Learning in Science and Mathematics*. New York, Teachers' College Press. pp. 131–140.
- Banerjee, A.C. 1991. Misconceptions of students and teachers in chemical equilibrium. *International Journal of Science Education* 13, 4, pp. 487–494.
- Barke, H.-D., Hazari, A. & Yitbarek, S. 2009. *Misconceptions in Chemistry – Addressing Perceptions in Chemical Education*. Berlin, Springer. 294 p.
- Barker, V. & Millar, R. 1999. Students' reasoning about chemical reactions: what changes occur during a context-based post-16 chemistry course? *International Journal of Science Education* 21, 6, pp. 645–665.
- Bradley, J.D. & Mosimege, M.D. 1998. Misconceptions in acids and bases: a comparative study of student teachers with different chemistry backgrounds. *South African Journal of Chemistry* 51, 3, pp. 137–145.
- Carr, M. 1984. Model Confusion in Chemistry. *Research in Science Education* 14, 1, pp. 97–103.
- Cokelez, A. 2010. A Comparative Study of French and Turkish Students' Ideas on Acid-Base Reactions. *Journal of Chemical Education* 87, 1, 102–106.

- Coll, R.K. & Treagust, D.F. 2003. Learner's Mental Models of Metallic Bonding: A Cross Age Study. *Science Education* 87, 5, pp. 685–707.
- Cros, D., Chastrette, M. & Fayol, M. 1988. Conceptions of second year university students of some fundamental notions in chemistry. *International Journal of Science Education* 10, 3, pp. 331–336.
- Demerouti, M., Kousathana, M. & Tsaparlis, G. 2004. Acid-Base Equilibria, Part I. Upper Secondary Students' Misconceptions and Difficulties. *The Chemical Educator* 9, 2, pp. 122–131.
- Demircioğlu, G., Ayas, A. & Demircioğlu, H. 2005. Conceptual change achieved through a new teaching program on acids and bases. *Chemistry Education Research and Practice* 6, 1, pp. 36–51.
- Drechsler, M. & Schmidt, H.-J. 2005. Textbooks' and teachers' understanding of acid-base models used in chemistry teaching. *Chemistry Education Research and Practice* 6, 1, pp. 19–35.
- Drechsler, M. & Van Driel, J. 2008. Experienced Teacher's Pedagogical Content Knowledge of Teaching Acid-base Chemistry. *Research in Science Education* 38, 5, pp. 611–631.
- Drechsler, M. & Van Driel, J. 2009. Teachers' perceptions of the teaching of acids and bases in Swedish upper secondary schools. *Chemistry Education Research and Practice* 10, 2, pp. 86–96.
- Driver, R., Guesne, E. & Tiberghien, A. 1985. Some Features of Children's Ideas and their Implications for Teaching. In: Driver, R., Guesne, E. & Tiberghien, A. (ed.). *Children's Ideas in Science*. Milton Keynes, Open University Press. pp. 193–201.
- Furió-Más, C., Calatayud, M.-L. & Bárcenas, S.L. 2007. Surveying Students' Conceptual and Procedural Knowledge of Acid-Base Behavior of Substances. *Journal of Chemical Education* 84, 10, pp. 1717–1724.
- Gabel, D. 1999. Improving Teaching and Learning through Chemistry Education Research: A Look to the Future. *Journal of Chemical Education* 76, 4, pp. 548–554.
- Garnett, P.J., Garnett, P.J. & Hackling, M.W. 1995. Student's Alternative Conceptions in Chemistry: A Review of Research and Implications for Teaching and Learning. *Studies in Science Education* 25, 1, pp. 69–95.
- Gilbert, J.K., Osborne, R.J. & Fensham, P.J. 1982. Children's Science and Its Consequences for Teaching. *Science Education* 66, 4, pp. 623–633.
- Griffiths, A.K. 1994. A Critical Analysis and Synthesis of Research on Students' Chemistry Misconceptions. In: Schmidt, H.-J. (ed.). *Problem Solving and Misconceptions in Chemistry and Physics*. Hong Kong, ICASE. pp. 70–79.

Gröhn, T. 1993. Fenomenograafinen tutkimusote. In: Gröhn, T. & Jussila, J. (ed.). Laadullisia lähestymistapoja koulutuksen tutkimuksessa. Helsinki, Yliopistopaino. s. 1–32.

Gustafsson, L. 2007. Kemiaalliset sidokset lukion kemian opetuksessa. Pro gradu-tutkielma. Helsinki. Helsingin yliopisto, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta. 74 s.

Hand, B.M. & Treagust, D.F. 1988. Application of a conceptual conflict teaching strategy to enhance student learning of acids and bases. *Research in Science Education* 18, 1, pp. 53–63.

Hand, B.M. & Treagust, D.F. 1991. Student Achievement and Science Curriculum Development Using a Constructive Framework. *School Science and Mathematics* 91, 4, pp. 172–176.

Hawkes, S.J. 1992. Arrhenius Confuses Students. *Journal of Chemical Education* 69, 7, pp. 542–543.

Hudson J. 2002. Suurin tiede – Kemian historia. Jyväskylä, Gummerus kirjapaino Oy. 419 s.

Hukka, T.I. s.a. Misconceptions about the concepts of acids, bases, and neutralization identified in student responses at the university level in Finland. Julkaisematon käsikirjoitus.

Hukka, T.I. & Kyörönen, L. 2000. Chemistry of acids and bases presented in text books of Finnish comprehensive and upper secondary schools. 16th International Conference on Chemical Education (16th ICCE), Budapest, August 5–10, 2000. pp. 186.

Huusko, M. & Paloniemi, S. 2006. Fenomenografia laadullisena tutkimussuuntauksena kasvatustieteissä. *Kasvatus* 37, 2, s. 162–173.

Inkala, T. 2005. Lukiolaisten virhekesityksiä kemiallisesti tasapainosta. Pro gradu-tutkielma. Helsinki. Helsingin yliopisto, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta. 56 s.

Jasien, P.G. 2011. What Do You Mean That “Strong” Doesn’t Mean “Powerful”? *Journal of Chemical Education* 88, 9, pp. 1247–1249.

Johnstone, A.H. 1997. Chemistry Teaching – Science or Alchemy? *Journal of Chemical Education* 74, 3, pp. 262–268.

Justi, R. & Gilbert, J. 2000. History and Philosophy of Science Through Models: some challenges in the case of the atom. *International Journal of Science Education* 22, 9, pp. 993–1009.

Järvinen, P. & Järvinen, A. 1996. Tutkimustyön metodeista. Tampere, Opinaja Oy. 150 s.

Kala, N., Yaman, F. & Ayas, A. 2013. The effectiveness of predict-observe-explain technique in probing students' understanding about acid-base chemistry: a case for the concepts of pH, pOH, and strength. *International Journal of Science and Mathematics Education* 11, 3, pp. 555–574.

Kind, V. 2004. *Beyond Appearances: Students' misconceptions about basic chemical ideas*. 2nd edition. London, Royal Society of Chemistry. 84 p.

Kousathana, M., Demerouti, M. & Tsaparlis, G. 2005. Instructional Misconceptions in Acid-Base Equilibria: An Analysis from a History and Philosophy of Science Perspective. *Science & Education* 14, 2, pp. 173–193.

Lewis, E.L. & Linn, M.C. 1994. Heat Energy and Temperature Concepts of Adolescents, Adults, and Experts: Implications for Curricular Improvements. *Journal of Research in Science Teaching* 31, 6, pp. 657–677.

Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003. 2003. Helsinki, Opetushallitus. 254 s.

Lybeck, L., Marton, F., Stromdahl, H. & Tullberg, A. 1988. The phenomenography of the 'mole concept' in chemistry. In: Ramsden, P. (ed.). *Improving learning: New perspectives*. New York, Nichols Publishing Company. pp. 81–108.

McClary, L. & Talanquer, V. 2011. College Chemistry Students' Mental Models of Acids and Acid Strength. *Journal of Research in Science Teaching* 48, 4, pp. 396–413.

Metsämuuronen, J. 2009. *Tutkimuksen tekemisen perusteet ihmistieteissä*. Jyväskylä, Gummerus Kirjapaino Oy. 1632 s.

Nakhleh, M.B. 1994. Students' Models of Matter in the Context of Acid-Base Chemistry. *Journal of Chemical Education* 71, 6, pp. 495–499.

Nakhleh, M.B. & Krajcik, J.S. 1994. Influence of Levels of Information as Presented by Different Technologies on Students' Understanding of Acid, Base, and pH Concepts. *Journal of Research in Science Teaching* 31, 10, pp. 1077–1096.

Orgill, M. 2007. Phenomenography. In: Bodner, G.M. & Orgill, M. (ed.). *Theoretical Frameworks for Research in Chemistry/Science Education*. New Jersey, Pearson Education Publishing. pp. 132–151.

Ozmen H. 2011. Turkish primary students' conceptions about the particulate nature of matter. *International Journal of Environmental & Science Education* 6, 1, pp. 99–121.

Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2004. 2004. Helsinki, Opetushallitus. 320 s.

Posner, G.J., Strike, K.A. & Hewson, P.W. 1982. Accommodation of Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. *Science Education* 66, 2, pp. 211–227.

Sanger, M.J. & Greenbowe, T.J. 1999. An Analysis of College Chemistry Textbooks As Sources of Misconceptions and Errors in Electrochemistry. *Journal of Chemical Education* 76, 6, pp. 853–860.

Schmidt, H.-J. 1991. A label as a hidden persuader: chemists' neutralization concept. *International Journal of Science Education* 13, 4, pp. 459–471.

Schmidt, H.-J. 1995. Applying the concept of conjugation to the Brønsted theory of acid-base reactions by senior high school students from Germany. *International Journal of Science Education* 17, 6, pp. 733–741.

Schmidt, H.-J. 1997. Students' Misconceptions – Looking for a Pattern. *Science Education* 81, 2, pp. 123–135.

Schmidt, H.-J. 2000. Should chemistry lessons be more intellectually challenging? *Chemistry Education Research and Practice* 1, 1, pp. 17–26.

Shiland, T.W. 1999. Constructivism: The Implications for Laboratory Work. *Journal of Chemical Education* 76, 1, pp. 107–109.

Syrjälä, L., Ahonen, S., Syrjäläinen, E. & Saari, S. 1994. Laadullisen tutkimuksen työtapoja. Helsinki, Kirjayhtymä. 185 s.

Uljens, M. 1989. Fenomenografi – forskning om uppfattningar. Lund, Studentlitteratur. 99 s.

Valli, R. Kyselylomaketutkimus. 2010. In: Aaltola, J. & Valli, R. (ed.). Ikkunoita tutkimusmenetelmiin I. Vol 3. Juva, WS Bookwell Oy. s. 103–127.

Yakmaci-Guzel, B. 2013. Preservice chemistry teachers in action: an evaluation of attempts for changing high school students' chemistry misconceptions into more scientific conceptions. *Chemistry Education Research and Practice* 14, 1, pp. 95–104.

HAPPO- JA EMÄSKÄSITTEET – Orgaaninen kemia kl 2013
TTY, Kemian ja biotekniikan laitos, Terttu Hukka

April 19, 2013

10. Mikä on Lewis-hapon määritelmä?

11. Mikä on Lewis-emäksen määritelmä?

Ilona Paananen, 27.8.2013
Diplomityön kyselylomake

Vastaa annettuihin kysymyksiin ymmärryksesi mukaisesti.

Vastaukset ovat nimettömiä eikä niitä pisteytetä. Tutkimuksessa kartoitetaan käsityksiä, ei oikeita ja vääriä vastauksia. Vastaa siis, vaikka et olisi varma vastauksesi oikeellisuudesta.

Lukiossa käytyjen kemian kurssien lukumäärä _____

1. Mitä happo tarkoittaa? Miten se määritellään?

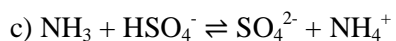
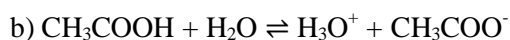
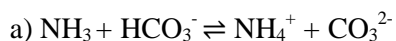
2. Mitä ymmärrät Arrhenius-mallilla ja Brønsted–Lowry-mallilla? Oletko koskaan kuullut niistä?

3. Lukion kemian kursseilla mainitaan kaksi happo-emäsreaktiota i) $\text{happo}_1 + \text{emäs}_2 \rightleftharpoons \text{emäs}_1 + \text{happo}_2$
 ii) $\text{happo} + \text{emäs} \rightarrow \text{suola} + \text{vesi}$

Kuvaavatko nämä samaa reaktiota? Miksi ne kirjoitetaan eri tavalla?

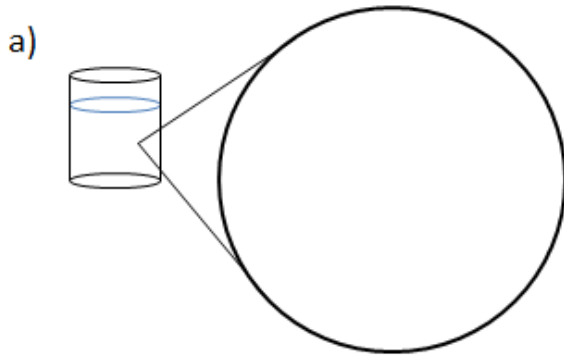
4. Mitä neutraloitumisreaktiossa tapahtuu? Millainen on sen lopputuote?

5. Merkitse seuraavista happo-emäsreaktioyhtälöistä konjugaattiparit. Voit merkitä ne suoraan yhtälöön esimerkiksi alleviivaamalla tai ympyröimällä.

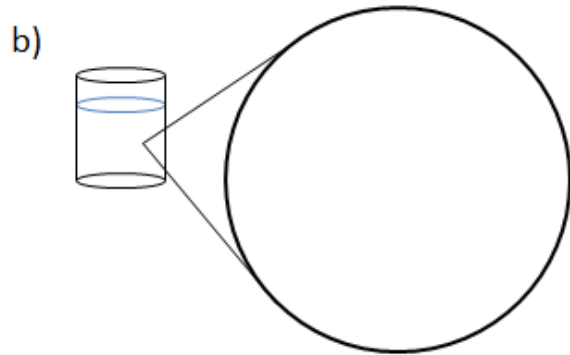


Ilona Paananen, 27.8.2013
Diplomityön kyselylomake

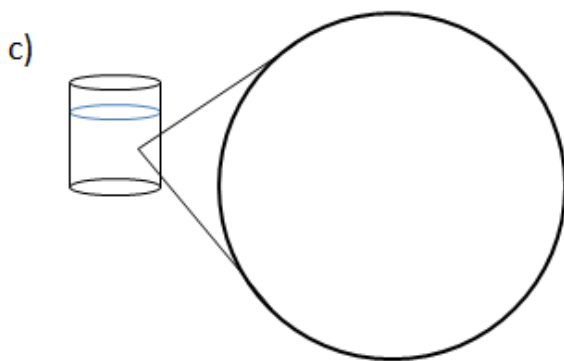
6. Keitinlasissa on a) vahvan hapon vesiliuosta b) heikon hapon vesiliuosta c) vahvan hapon väkevää vesiliuosta ja d) vahvan hapon laimeaa vesiliuosta. Piirrä, miltä liuokset näyttäivät molekyylitasolla.



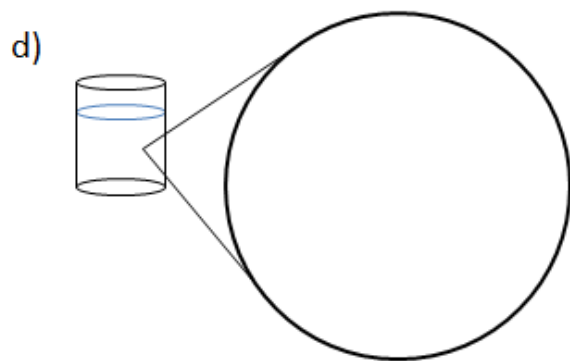
Vahva happo



Heikko happo

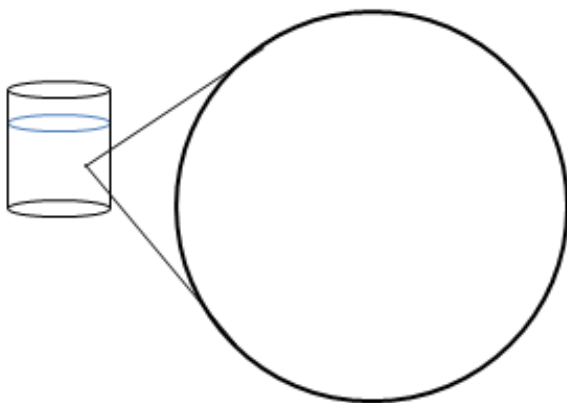


Vahvan hapon väkevä liuos



Vahvan hapon laimea liuos

7. Piirrä, miltä näyttää molekyylitasolla keitinlasissa, johon on kaadettu sekä natriumhydroksidin vesiliuosta (NaOH) että suolahapon vesiliuosta (HCl).



Ensimmäisen kysymyksen vastauksista löydetty merkitysyksiköt koodattuna vastaajan mukaan ja jaoteltuna määriteltuihin kuvauskategorioihin. Suluissa tulkinta vastauksen oikeellisuudesta, oikea käsitys (O) tai virheellinen käsitys (V).

Määritelmä ominaisuuden perusteella

- 2. "Happo on aine, joka luovuttaa protonin." (O)
- 12. "Happo on yhdiste, joka protolyysissä luovuttaa protonin." (O)
- 13. "Happo on aine, joka luovuttaa protonin." (O)
- 14. "Happo luovuttaa vetyionin eli protonin." (O)
- 15. "Happo on protonin luovuttaja." (O)
- 18. "Aine, joka neutraalissa vesiliuoksessa luovuttaa H^+ -ionin." (O)
- 19. "Aine, joka voi luovuttaa protonin tai protoneita." (O)
- 27. "Happo on aine, joka voi luovuttaa protonin (H^+)." (O)
- 32. "Happo on aine, joka luovuttaa vedyn vedelle ja aiheuttaa $[H_3O^+]$ -ioneita." (O)
- 40. "Happo on aine, joka kykenee luovuttamaan H^+ -ionin." (O)
- 45. "Happo veteen liuetessaan luovuttaa vedelle protonin, jolloin vedestä tulee oksoniumioni." (O)
- 48. "Happo on aine, joka voi luovuttaa protonin." (O)
- 56. "Happo on aine, joka kykenee luovuttamaan protoninsiirtoreaktiossa vedyn protonin emäkselle." (O)
- 57. "Happo voi luovuttaa protonin tai useamman." (O)
- 60. "Happo voi luovuttaa H^+ ." (O)

- 8. " H^+ -ionien vastaanottokyky." (V)
- 22. "Happo on yhdiste, joka voi ottaa vastaan protonin (H^+)." (V)
- 42. "Happo on aine, joka voi vastaanottaa protonin." (V)
- 58. "Happo ottaa vastaan vedyn emäkseltä ja aiheuttaa liuoksesta happaman eli liuoksessa on H_3O^+ ." (V)
- 59. "Happo vastaanottaa vedyn eli protonin." (V)

- 38. "Aine, joka muodostaa H_3O^+ -ryhmiä." (O)

- 57. "Happo voi vastaanottaa elektroniparin." (O)

- 9. "Happo hapottaa?" (V)

- 1. "Hapossa on yhdisteen hiileen kiinnittynyt OH^- -yhdiste." (V)
- 5. "Muistaakseni OH^- -ryhmät liittyvät myös happoihin." (V)
- 46. "Happo on liuos, jossa on enemmän OH^- -ioneja kuin OH_3^+ -ioneja." (V)

- 6. "Hapossa on H^+ -ioni." (O)

- 25. "Erään aineen (tai sidoksen?) pitoisuus." (V)

- 21. "On olemassa vahvoja ja laimeita happoja." (V)

Määritelmä pH-arvon avulla

- 17. "Hapon pH on tietty." (O)
- 23. "pH-arvoilla." (O)

28. "pH-arvon avulla." (O)
30. "Happo tai emäs määritellään pH-arvon mukaan." (O)
5. "Sen pH on happaman puolella." (O)
26. "pH on hapan, ei siis emäksinen." (O)
28. "Jotain, jonka pH-arvo on hapan." (O)
37. "Happo on pH-arvoltaan hapan aine." (O)
7. "Happo on pH-arvoltaan korkea." (V)
35. "Hapon pH-arvo on korkea." (V)
55. "Korkea pH." (V)
1. "Hapon pH on yli 7." (V)
5. "Sen pH on happaman puolella eli olisikohan se päälle 7:n." (V)
52. "Hapon pH on yli 7." (V)
54. "Hapon pH-arvo on yli 7." (V)
4. "Hapon pH on matala." (O)
24. "Aine, jonka pH alle neutraali." (O)
31. "Hapon pH on alhainen." (O)
36. "Alhainen pH." (O)
49. "Hapolla on matala pH." (O)
3. "pH on alle 7." (O)
8. "Hapon pH-arvo on alle 7." (O)
11. "Hapon pH on alle 7." (O)
29. "pH alle 7." (O)
32. "Hapon pH on alle 7." (O)
37. "pH alle 7." (O)
39. "Aine, jonka pH-arvo on alle 7." (O)
41. "pH < 7." (O)
43. "Hapon pH on alta 7." (O)
47. "Hapon pH < 7." (O)
50. "pH-arvo alle 7." (O)
51. "pH-arvo alle 7 tjsp." (O)
57. "pH < 7." (O)
20. "Happo on ainetta, jonka pH arvo on alle 6." (O)
21. "Aine, joka on pH-arvoltaan alle 6." (O)
33. "Hapolla on pieni pH, sanotaan vaikka alle 4?" (O)
34. "pH alle 5." (O)

Aistinvarainen määritelmä

7. "Happo on neste." (O)
8. "Happo on nestettä." (O)
11. "Happo on liuos." (O)
29. "Nestettä." (O)
46. "Happo on liuos." (O)
47. "Nestettä." (O)

49. "Nestettä" (O)

17. "Happo on hapan aine." (O)

31. "Hapanta ainetta." (O)

33. "Happo on hapanta." (O)

37. "Hapan aine." (O)

43. "Hapanta ainetta." (O)

52. "Happo on hapan." (O)

4. "Happo on emäksen vastakohta." (O)

25. "Emäksen vastakohta." (O)

29. "Vastakohta emäkselle." (O)

44. "Emäksistä ainetta." (V)

53. "Happo ei ole emäs eikä neutraali." (O)

4. "Ovat syövyttäviä ainakin jossain määrin riippuen vahvuudesta." (O)

7. "Happo on väkevä ja syövyttävä." (O)

9. "Syövyttämistä?" (O)

16. "Syövyttävä aine." (O)

29. "Syövyttävää." (O)

35. "Happo on syövyttävää." (O)

51. "Syövyttävä aine?" (O)

54. "Happo on hapanta, pistelevää ainetta/seosta." (O)

55. "Syövyttävä aine." (O)

Toisen kysymyksen vastaukset koodattuna vastaajan mukaan ja jaoteltuna määritettyihin kategorioihin.

Ei ole kuullut / Ei muista kuulleen

- 7. En ole kuullutkaan.
- 10. O.O No en...
- 12. ?
- 21. En muista kuulleen mitään.
- 42. En ole kuullut malleista
- 44. Jos olen niin unohtanut
- 46 kpl En ole kuullut / En muista kuulleen

On kuullut, mutta ei kerro mitä

- 14. Olen kuullut/lukenut ohimennen, mutta ei muista enää mitään
- 17. En ole koskaan kuullut niistä. Tai olen kuullut Arrhenius-mallista, mutten muista siitä mitään.
- 18. Olen kuullut Brønsted–Lowry-mallista.
- 48. Olen kuullut.

Kertoo ymmärryksestään

- 2. Arrhenius-malli kuvaa elektronien sijoittumista atomin eri orbitaaleille
- 57. Brønsted–Lowry-mallissa happo luovuttaa protonin ja emäs puolestaan vastaanottaa protonin. Arrhenius mallissa happo myöskin luovuttaa protonin, mutta emäs puolestaan OH-ionin.

Kolmannen kysymyksen vastauksista löydetty merkitysyksiköt koodattuna vastaajan mukaan ja jaoteltuna määriteltyihin kuvauskategorioihin.

Minkä tyyppinen reaktio on kyseessä?

1. Nämä ovat molemmat hapon ja emäksen välisiä reaktioita. Ero ii) on se, että tässä reaktiossa on kyseessä neutraloituminen
2. Toinen on protolyysireaktio ja toinen on neutraloitumisreaktio.
14. Ensimmäinen reaktio on tasapainoreaktio, toinen neutraloitumisreaktio. Tasapainoreaktiossa reaktiot tapahtuvat jatkuvasti molempiin suuntiin tietyllä nopeudella, neutraloitumisreaktio taas tapahtuu vain yhteen suuntaan ja loppuu aikanaan.
15. i) on normaali protoninsiirtoreaktio. ii) on neutraloitumisreaktio. Eli periaatteessa sama reaktio.
16. Ei. Ensimmäinen on tasapainoreaktio, toinen hapon neutraloitumisreaktio.
22. i) ensimmäinen on tavallinen happo-emäsreaktio. ii) on liukoisuuteen liittyvä kaava, missä vesi toimii happona.
45. Ylempi on tasapainoreaktio ja alempi on neutraloitumisreaktio. Siksi ne kirjoitetaan eri tavalla.

Minkälaiset aineet reagoivat?

13. Eivät, sillä ensimmäisessä on kyse heikosta haposta ja emäksestä, toisessa vahvoista.
19. Eivät kuvaa. Ensimmäisessä reaktiossa kyseessä on heikko happo ja emäs. Jälkimmäisessä kaikki protonit luovutetaan ja vastaanotetaan.
27. i-reaktiossa on puskuriliuos, ii-reaktiossa vahva happo ja vahva emäs kumoavat toistensa vaikutukset.
43. i) heikko happo + heikko emäs. ii) vahva happo + vahva emäs
58. Eivät kuvaa samaa. Ylempi on heikon hapon tai emäksen reaktio, missä lähtöaineet eivät protolysoitu täydellisesti. Alempi on vahvan hapon tai emäksen reaktio, missä happo tai emäs protolysoituu täysin.

Mitä kaavat tarkoittavat?

21. Kuvaavat, mutta mallilla havainnollistetaan ko. reaktion oleellinen asia.
57. Ne kirjoitetaan eri tavalla, koska on eri määritelmiä.

Mitä voi nähdä kaavasta?

2. Ylempi on tasapainoreaktio, eli ei koskaan reagoi loppuun asti, vaan jää tasapainotilaan. Alemmassa reaktio tapahtuu loppuun asti.
8. Eivät, reaktio toimii ylemmässä molempiin suuntiin.
25. Jälkimmäinen reaktio ei voi tapahtua toiseen suuntaan.
32. Kyllä, toinen on tasapainoreaktio eli jää happoa ja emästä jäljelle.
38. Toinen reaktio tapahtuu vain yhteen suuntaan.
39. Toinen on tasapainoreaktio (i)
41. i) tasapainotilassa
52. Ylempi on kaksisuuntainen reaktio, alempi yksisuuntainen. Reaktio ei välttämättä ole sama.
56. Eivät kuvaa. Ensimmäisessä reaktiossa kyse on tasapainoreaktiosta, jossa tasapainossa osa hapoista on vastinemäksinään ja osa emäksistä on vastinhappoinaan. Toinen

reaktio etenee vain yhteen suuntaan, jossa hapot ja emäkset neutraloivat toisensa, jolloin liuokseen jää veden haihduttamisen jälkeen hapon ja emäksen suolaa.

59. Reaktio i) on tasapainoreaktio eli se tapahtuu molempiin suuntiin yhtä aikaa ja ii) tapahtuu vain nuolen osoittamaan suuntaan.

60. Koska toinen reaktio ei voi mennä toiseen suuntaan.

13. Toinen on siis neutraloitumisreaktio. i):ssä alaindeksit merkitsevät hapon vastine-mästä ja emäksen vastinhappoa.

23. Ei. Alaindeksit.

1. . i)-kohdassa atomit vaihtuvat keskenään muodostaen uudet happo ja emäs.

3. Ei mielestäni. ii) reaktio tuottaa neutraalin liuoksen.

8. Reaktiotuotteet eri.

9. Kuvaavat, koska jatkokysymys. Lopputuote ei välttämättä ole aina suola + vesi, vaan jotkut muut yhdisteet.

11. Eivät. Eri lopputuotteet.

12. Vesi voi toimia sekä happona että emäksenä. Jokaisen vahvan hapon vastaemäs on heikko.

20. Toisessa kohdassa happo ja emäs neutraloivat toisensa, ensimmäisessä kohdassa ei tapahdu niin.

29. Eivät kuvaa, koska suolan ja veden reaktiosta ei tule happoa ja emästä, joista ne on alun perin muodostettu.

32. Toinen on lopputulos niiden luovuttamille ioneille.

38. Kyllä, suolat voivat olla emäksiä ja vesi voi toimia happona tai emäksenä.

48. Eivät kuvaa samaa reaktiota. Alempi ii)-reaktio kuvaa neutraloitumisreaktiota, missä syntyy suolaa ja vettä. Ylemmässä reaktiossa uudet emäkset ja hapot voivat vielä rea-goida eteenpäin.

57. i) Tässä näkyy konjugaattiparit. ii) Tässä on vaan joku suola + vesi. Kaikki hapot ja emäksen ei tuota vettä suolan lisäksi, esim. NH_3 :lla ei ole OH^- .

Neljännen kysymyksen vastauksista löydetty merkityksiköt koodattuna vastaajan mukaan ja jaoteltuna määriteltuihin kuvauskategorioihin.

Vastaus perustettu pH-arvoon

19. Hapon ja emäksen määrät tasaantuvat. pH riippuu neutraloitavasta aineesta
 21. pH-arvoltaan kaksi erilaista ainetta reagoivat keskenään ja pyrkivät saamaan yhden aineen, jolla on sama pH.
3. Esim. hapolla neutraloidaan emäs ja $\text{pH} \approx 7$.
 9. Lopputuote vesi. Tällöin pH-arvo on 6-7.
 10. Happo tahi emäs neutraloituu aineeksi, jonka pH on 6 tai 7.
 18. Syntyy neutraalia ainetta, pH 7.
 47. $\text{pH} = 7$
 49. Happaman tai emäksisen aineen pH muuttuu neutraaliksi ≈ 7 .
 51. pH-arvo neutraali?
 52. Syntyy neutraalia liuosta, jonka pH on (lähellä) 7.
 55. pH-arvo laskee tai nousee emäksestä happamaan päin tai happamasta emäkseen päin, neutraali lopputuote.
8. pH-arvo lähestyy 7
 20. Happo ja emäs sekoittuvat ja niiden pH-arvot lähenevät kuutta. Lopputuotteena tulee ainakin vettä.
 22. Liuoksen happo- ja emäskonsentraatiot tasapainottuu ja pH lähestyy 7:ää. Neutraloitumisessa on vahva happo ja heikko emäs tai toisinpäin.
 23. $\text{pH} \rightarrow 7$
 29. pH lähenee 7, vesi

Vastaus perustettu Arrhenius-mallille

2. Happo ja emäs reagoivat muodostaen suolaa ja vettä.
 4. happo + emäs \rightarrow suola + vesi
 11. vesi + suola
 12. Neutraloitumisreaktiossa sama määrä happoa reagoi emäksen kanssa muodostaen suolan + veden, esim. $\text{HCl} + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$.
 13. Vahva happo ja vahva emäs reagoivat, jolloin syntyy suolaa ja vettä.
 14. Happo ja emäs reagoivat keskenään, syntyy suola ja pieni molekyyli, yleensä vettä tai vetykaasua.
 16. suola + vesi
 22. Lopputuotteena tulee suolaa ja vettä.
 23. vesi suola
 32. emäs + happo \rightarrow suola + vesi
 40. Suola ja (vesi)
 42. Lopputuotteet ovat suola ja vesi.
 43. Vahva emäs tai happo neutraloidaan vedeksi ja suolaksi.
 45. Tulee hapon ja emäksen suolaa sekä vettä.
 48. Lopputuotteena syntyy suolaa ja vettä.
 52. Happo ja emäs reagoivat keskenään, syntyy suolaa ja vettä.
 58. Happo ja emäs neutralisoivat täysin toisensa, jolloin syntyy suolaa ja vettä.
 60. Lopputuote on suola ja vettä.

Vastaus perustettu ajatukselle happo + emäs = neutraali

7. Aine muuttuu neutraaliksi? Lopputuote on siitä lähteneet aineet?

11. Liuos neutralisoituu

35. Aineen emäksisyys tai hapokkuus katoaa.

44. Aine hakeutuu sen neutraaliin olomuotoon.

50. Aine neutraloituu neutraloitumisreaktiossa.

53. Varmaankin neutraali, ei hapan eikä emäksinen

9. Happo tasapainottaa emäksen tai toisin päin.

16. Happoa lisätään emäkseen tai toisin päin

17. Neutraloitumisreaktiossa happoon lisätään kai emästä tai toisin päin. En muista/tiedä.

33. Kuulostaa, että happo ja emäs kumoaa toisensa...

1. Neutraloitumisessa happo/emäs neutraloituu, eli esim. $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{CaSO}_4$

4. Happo ja emäs neutraloituvat.

5. Happo ja emäs reagoivat niin että tuloksena on yksi neutraali aine.

25. Happo ja emäs reagoivat keskenään saaden aikaan neutraalin tuotteen.

26. On hapanta ja ei-hapanta \rightarrow yhdistyvät \rightarrow lopputuote on neutraalia (tai neutraalimpaa).

28. Happo tai emäs muuttuu neutraaliksi, neutraali?

36. Happo tai emäs neutraloituu, tulee vettä.

37. Reaktiossa emäkset ja hapot neutralisoituvat. Lopputuote riippuu lähtöaineista.

40. Happo ja emäs neutraloivat toisensa.

42. Neutraloitumisreaktiossa happo ja emäs muuttuvat neutraaleiksi aineiksi.

54. Hapan tai emäksinen aine muuttuu neutraaliksi.

57. Neutralointireaktiossa happo ja emäs neutraloivat toisensa ja muodostavat vähintään suolaa. Jotta kyseisen suolan vesiliuos olisi neutraali, sekä hapon että emäksen on oltava molempien vahvoja tai heikkoja.

Vastaus perustettu mikrotasoon

6. Syntyy vettä, kun H^+ ja OH^- yhdistyy.

15. Oksonium- ja hydroksyyli-ionit "kumoavat" toisensa ja syntyy vettä. Jos oksonium- ja hydroksyyli-ioneja on ollut samat ainemäärät, on lopputuote neutraali, ellei syntyvällä suolalla ole happo-emäsluonnetta.

38. $\text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^- \rightleftharpoons 2 \text{H}_2\text{O}$

59. Neutraloitumisessa OH^- ja H_3O^+ reagoivat keskenään ja muodostuu $2 \text{H}_2\text{O}$ eli vettä.

18. Neutraloitumisessa happo luovuttaa H^+ emäkselle.

27. Neutraloitumisreaktiossa happo luovuttaa protonin emäkselle, mistä johtuen liuos pysyy neutraalina.

48. Neutraloitumisreaktiossa happo luovuttaa protonin ja emäs vastaanottaa sen.

56. Neutraloitumisreaktiossa happo ja emäs neutraloivat toisensa protoninsiirtoreaktiossa, jolloin lopputuotteena syntyy suolaa.

46. Liuokseen lisätään jotain, mikä tasoittaa OH^- ja OH_3^+ ionien määrän

Viidennen kysymyksen vastauksista löydetty merkitysryksiköt koodattuna vastaajan mukaan ja jaoteltuna määriteltuihin kuvauskategorioihin.

Oikeat happo-emäsparit, 16 vastaajaa

- a) $\text{NH}_3 + \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{CO}_3^{2-}$
 b) $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$
 c) $\text{NH}_3 + \text{HSO}_4^- \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-} + \text{NH}_4^+$

Vastaukset lähes oikein

Oikein, mutta pareista merkitty vain toiset

18. a) $\text{NH}_3 + \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{CO}_3^{2-}$
 b) $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$
 c) $\text{NH}_3 + \text{HSO}_4^- \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-} + \text{NH}_4^+$
31. a) $\text{NH}_3 + \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{CO}_3^{2-}$
 b) $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$
 c) $\text{NH}_3 + \text{HSO}_4^- \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-} + \text{NH}_4^+$
36. a) $\text{NH}_3 + \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{CO}_3^{2-}$
 b) $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$
 c) $\text{NH}_3 + \text{HSO}_4^- \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-} + \text{NH}_4^+$
46. a) $\text{NH}_3 + \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{CO}_3^{2-}$
 b) $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$
 c) $\text{NH}_3 + \text{HSO}_4^- \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-} + \text{NH}_4^+$
55. a) $\text{NH}_3 + \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{CO}_3^{2-}$
 b) $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$
 c) $\text{NH}_3 + \text{HSO}_4^- \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-} + \text{NH}_4^+$

Oikein, mutta vesi/oksonium-pari jätetty huomiotta

43. a) $\text{NH}_3 + \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{CO}_3^{2-}$
 b) $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$
 c) $\text{NH}_3 + \text{HSO}_4^- \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-} + \text{NH}_4^+$

Osa oikein, osa väärin

Valittu ensimmäiset ja toiset kummaltakin puolelta reaktioyhtälöä

16. a) $\text{NH}_3 + \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{CO}_3^{2-}$
 b) $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$
 c) $\text{NH}_3 + \text{HSO}_4^- \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-} + \text{NH}_4^+$

Ei silminnäkävää logiikkaa

12. a) $\text{NH}_3 + \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{CO}_3^{2-}$
 b) $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$
 c) $\text{NH}_3 + \text{HSO}_4^- \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-} + \text{NH}_4^+$

Väärin

Valittu happo-happoparit

1. a) $\text{NH}_3 + \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{CO}_3^{2-}$
 b) $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$
 c) $\text{NH}_3 + \text{HSO}_4^- \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-} + \text{NH}_4^+$
35. a) $\text{NH}_3 + \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{CO}_3^{2-}$
 b) $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$
 c) $\text{NH}_3 + \text{HSO}_4^- \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-} + \text{NH}_4^+$

Valittu happo-happoparit ja emäs-emäsparit

22. a) $\text{NH}_3 + \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{CO}_3^{2-}$
 b) $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$
 c) $\text{NH}_3 + \text{HSO}_4^- \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-} + \text{NH}_4^+$
32. a) $\text{NH}_3 + \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{CO}_3^{2-}$
 b) $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$
 c) $\text{NH}_3 + \text{HSO}_4^- \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-} + \text{NH}_4^+$

Ei silminnäkävää logiikkaa

29. a) $\text{NH}_3 + \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{CO}_3^{2-}$
 b) $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$
 c) $\text{NH}_3 + \text{HSO}_4^- \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-} + \text{NH}_4^+$
30. a) $\text{NH}_3 + \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{CO}_3^{2-}$
 b) $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$
 c) $\text{NH}_3 + \text{HSO}_4^- \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-} + \text{NH}_4^+$

Ei ymmärretty kysymystä, kolmesta yhtälöstä valittu kokonaisuudessaan kaksi

39. a) $\text{NH}_3 + \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{CO}_3^{2-}$
 b) $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$
 c) $\text{NH}_3 + \text{HSO}_4^- \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-} + \text{NH}_4^+$
60. a) $\text{NH}_3 + \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{CO}_3^{2-}$
 b) $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$
 c) $\text{NH}_3 + \text{HSO}_4^- \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-} + \text{NH}_4^+$